

THÈSE DE
PARIS.
1884.
N^o 52.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. GODFRIN

Chargé de cours à l'École supérieure de pharmacie de Nancy.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR L'ANATOMIE COMPARÉE DES COTYLÉ-
DONS ET DE L'ALBUMEN.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *9 juin* devant la commission d'examen

MM. HÉBERT. *Président.*

DUCHARTRE } *Examineurs.*
P. BERT. }

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de médecine

1884

SÉRIE A, N° 59.

N° D'ORDRE

509

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. GODFRIN

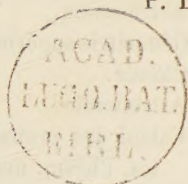
Chargé de cours à l'École supérieure de pharmacie de Nancy.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR L'ANATOMIE COMPARÉE DES COTYLÉ-
DONS ET DE L'ALBUMEN.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *9 juin* ~~7 juillet~~ devant la commission d'examen

MM. HÉBERT.	Président.
DUCHARTRE	} Examinateurs.
P. BERT.	



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de médecine

1884

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

	MM.	
Doyen.	MILNE EDWARDS,	Professeur. Zoologie, Anatomie, Physiol. comparée.
Professeurs honoraires.	{ DUMAS. PASTEUR.	
	P. DESAINS.	Physique.
	HÉBERT.	Géologie.
	DUCHARTRE.	Botanique.
	JAMIN.	Physique.
	SERRET.	Calcul différentiel et intégral.
	DE LACAZE-DUTHIERS. . . .	Zoologie, Anatomie, Physiol. comparée.
	BERT.	Physiologie.
	HERMITE.	Algèbre supérieure.
Professeurs.	BOUQUET.	Mécanique physique et expérimentale.
	TROOST.	Chimie.
	WURTZ.	Chimie organique.
	FRIEDEL.	Minéralogie.
	OSSIAN BONNET.	Astronomie.
	DARBOUX.	Géométrie supérieure.
	DEBRAY.	Chimie.
	TISSERAND.	Astronomie.
	LIPPMANN.	Calcul des probabili- tés, Physiq. math.
Chargé de cours.	APPELL.	Mécaniq. rationnelle.
	{ BERTRAND.	Sciences mathémat.
Agrégés.	{ J. VIEILLE.	<i>Id.</i>
	{ PELIGOT.	Sciences physiques.
Secrétaire.	PHILIPPON.	

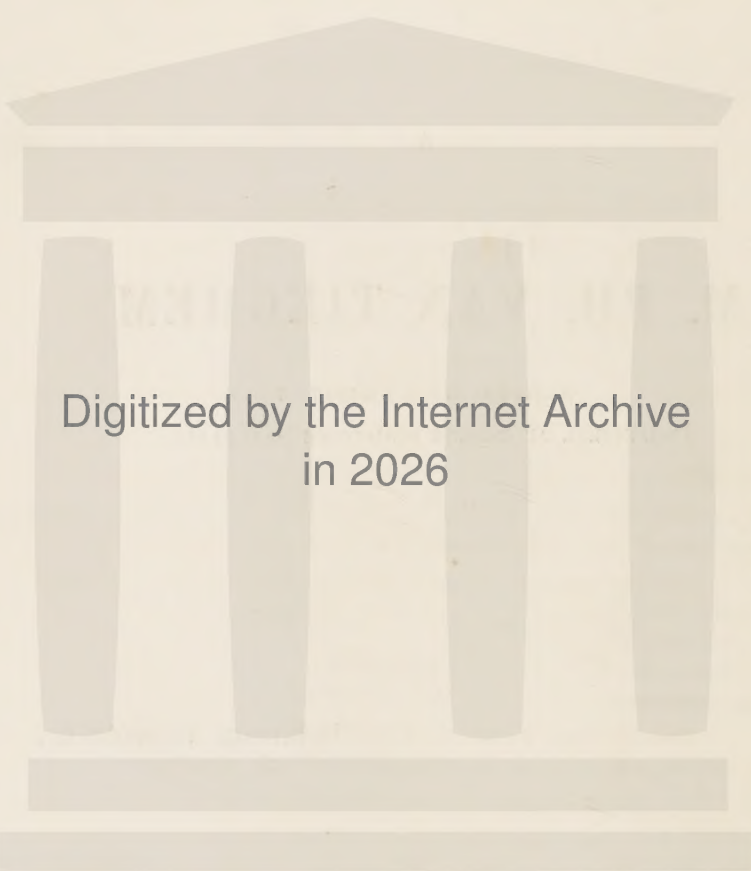
A

M. PH. VAN TIEGHEM

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

Hommage respectueux.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

RECHERCHES
SUR
L'ANATOMIE COMPARÉE DES COTYLÉDONS
ET DE L'ALBUMEN

Par M. J. GODFRIN,

Chargé de cours à l'École supérieure de pharmacie de Nancy.

INTRODUCTION.

L'objet de ce mémoire, qui m'a été inspiré par M. Van Tieghem, est la morphologie comparée des cotylédons, depuis le moment où ils apparaissent à l'extrémité du corps embryonnaire, sous forme de protubérances visibles à l'œil nu ou à la loupe, jusqu'à celui où cesse leur existence.

L'histoire du cotylédon sera divisée naturellement en trois parties : 1^o développement jusqu'à la maturité ; 2^o état de maturité ou de vie latente ; 3^o développement depuis la mise en germination jusqu'à la chute du cotylédon.

Dans une étude anatomique, la fin de la germination, qui, d'après tous les auteurs, arrive au moment où les substances mises en réserve sont épuisées, où l'embryon vit du produit de son activité assimilatrice, ne devait pas m'arrêter, et je devais continuer mes recherches jusqu'au terme de l'existence du cotylédon, lorsqu'aucun changement ne se manifeste plus en lui, et où, flétri, il se détache de la jeune plante.

Je néglige l'observation des premiers âges de l'embryon, des premières divisions cellulaires qui ont lieu dans le sac embryonnaire pour le former, parce que ce sujet a déjà été suffisamment étudié (1). Je ne m'arrête non plus à la forme extérieure

(1) Voy. Tulasne, *Études d'embryogénie végétale* (Ann. des sc. nat., 3^e série, XII, 1849, et 4^e série, XV, 1855). — Hoffmeister, *Neuere Beobachtungen über Embryobildung der Phanerogamen* (Jahrbücher für wiss. Bot., I, 1858)

du cotylédon qu'autant que cette connaissance est nécessaire à l'intelligence de la structure interne, dont je m'occupe exclusivement. Je devrai traiter à la fois du développement des tissus et du développement du contenu des cellules. Toutefois je fais une réserve au sujet de la matière grasse. Celle-ci ne présente, en effet, à l'étude histologique que des phénomènes peu intéressants et peu variés. C'est au point de vue chimique qu'il faudrait observer la formation et la disparition de cette substance. Mais comme elle constitue souvent une partie importante des réserves accumulées dans la graine, je la signalerai dans tous les cotylédons où elle existe en assez grande quantité pour pouvoir contribuer à la nutrition de l'embryon.

Enfin, l'albumen a des relations tellement étroites avec le cotylédon, au moins quant à la nature des substances qui y sont mises en réserve, que les deux organes ne peuvent guère être étudiés l'un sans l'autre. J'ai donc soumis l'albumen au même examen que les cotylédons.

Ces recherches ont été commencées au laboratoire de botanique de l'École supérieure des sciences d'Alger. Les objets d'étude étaient puisés au jardin d'essai du Hamma, dont l'administration, et en particulier le chef des graines, M. Charbonnier, a toujours mis le plus grand empressement à m'être utile; qu'il reçoive ici l'expression de ma reconnaissance. Elles ont été terminées à l'École supérieure de pharmacie de Nancy, où toutes les ressources nécessaires à leur exécution ont été mises à ma disposition.

J'ai souvent consulté M. Le Monnier, professeur de bota-

Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung (Abhandl. der Sächs. Gesellsch. der Wiss., 1859 et 1861). — Hanstein, *Die Entwicklung des Keimes der Monocotylen und Dicotylen* (Botanische Abhandlungen, I, 1870). — Fleischer, *Flora*, 1874. — Westermaier, *Flora*, 1876. — Hegelmaier, *Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung dicotyledoner Keime*. Stuttgart, 1878. — Treub, *Embryogénie de quelques Orchidées*. Amsterdam, 1878. *Observations sur les Loranthacées* (Ann. des sc. nat., 6^e série, XIII, 1882). — Guignard, *Recherches d'embryogénie végétale* (Ann. des sc. nat., 6^e série, XII, 1881).

nique à la Faculté des sciences de Nancy, mon maître, qui m'a initié à l'étude de l'anatomie végétale; qu'il me permette de lui exprimer ma vive gratitude pour l'amabilité avec laquelle il m'a accueilli, et pour les excellents conseils qu'il m'a donnés toutes les fois que j'ai eu recours à sa science.

HISTORIQUE.

Aucune partie de la Botanique n'a peut-être été l'objet d'un plus grand nombre de travaux que la structure, la formation et la germination des embryons phanérogames. Mais aucun mémoire n'a encore paru, à ma connaissance, ayant pour but l'anatomie comparée des cotylédons et de l'albumen. La plupart des auteurs qui ont décrit les graines, en effet, se sont placés à d'autres points de vue. Les uns se sont limités aux premières divisions cellulaires qui donnent naissance à l'embryon; d'autres n'ont décrit que la forme extérieure de l'embryon pendant toute son existence, mais plus particulièrement pendant la période germinative; enfin une dernière catégorie, négligeant l'étude de la forme de la jeune plante et s'occupant uniquement de sa physiologie, ont fait porter leurs recherches sur les modifications chimiques qui ont lieu dans l'embryon aux différentes phases de sa vie, ou sur l'influence exercée par les différentes conditions extérieures sur son développement. On trouve cependant dans quelques ouvrages, pour ainsi dire accidentellement, quelques données sur la structure interne des cotylédons et de l'albumen. Je dois donc citer ces mémoires; ils se rangent, d'après l'époque de leur publication, dans l'ordre suivant :

M. Sachs a étudié, dans différents travaux (1), la germina-

(1) J. Sachs, *Physiologische Untersuchungen über die Keimung der Schminkbohne* (*Phaseolus multiflorus*). (*Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien*, 1859, p. 57).

— *Ueber das Auftreten der Stärke bei der Keimung ölhaltiger Samen* (*Bot. Zeit.*, 1859, p. 177).

— *Zur Keimungsgeschichte der Gräser* (*Bot. Zeit.*, 1862, t. XX, p. 145).—

tion des *Phaseolus multiflorus*, *Ricinus communis*, *Helianthus annuus*, *Xanthium strumarium*, *Amygdalus communis*, *Prunus Cerasus*, *Impatiens Balsamina*, *Convolvulus tricolor*, *Cucurbita Pepo*, *Vicia Faba*, *Spinacia oleracea*, *Phœnix dactylifera*, *Allium Cepa*, et des Graminées. Le physiologiste allemand a surtout en vue de rechercher sous quelle forme les matériaux mis en réserve dans la graine sont transportés au lieu de leur utilisation, et quelle voie ils suivent dans leurs migrations; les seules données que possède encore la science à cet égard sont tirées de ces mémoires. Ayant reconnu que dans les graines en germination la nature du contenu des cellules est liée d'une façon intime avec la forme des tissus, M. Sachs est amené à étudier la structure des graines sur lesquelles il expérimente, et c'est par là que ses travaux nous intéressent.

De son côté, A. Gris, se proposant un but différent, et qui se rapproche de celui du présent mémoire, examine « les changements qui s'opèrent pendant la germination dans la constitution des tissus de l'embryon et du périsperme, ainsi que dans les matières que ces tissus renferment ». Il observe pour cela, à l'état de vie latente et pendant la période germinative, les graines du Maïs, de la Belle-de-nuit, du Ricin, de la Buglosse, de la Gourde, du Cytise, du Haricot, du Balisier et du Dattier (1).

M. Van Tieghem, dans son étude sur le cotylédon des Graminées (2), nous indique, pour cette famille et celle des Cypéracées, la nervation de l'écusson. La même année, dans un

J. Sachs, *Zur Keimungsgeschichte der Dattel* (Bot. Zeit., 1862, t. XX, p. 241).

— *Ueber die Keimung des Samens von Allium Cepa* (Bot. Zeit., 1863, t. XXI, p. 57 et 65).

(1) A. Gris, *De l'organisation du scutelle dans le Maïs, et de son rôle pendant la germination* (Bull. de la Soc. bot. de France, 1863, t. X, p. 90).

— *Sur la germination du Mirabilis longiflora* (Bull. de la Soc. bot. de France, 1864, t. XI, p. 120).

— *Recherches anatomiques et physiologiques sur la germination* (Ann. des sc. nat., 5^e série, t. II, 1864, p. 5).

(2) Van Tieghem, *Observations anatomiques sur le cotylédon des Graminées* (Ann. des sc. nat., 1872, t. XV, p. 233).

mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes (1), il cite quelques cotylédons (*Tagetes patula*, *Helianthus annuus*, *Araliacées*) qui possèdent des appareils sécréteurs.

Vient ensuite un mémoire de M. Hugo de Vries sur la germination du Trèfle incarnat (2), où cet auteur donne l'anatomie externe et l'anatomie interne de cette graine, puis les modifications qui ont lieu dans les différents organes au cours de la germination.

MM. Haberland et Mikosch (3), pour élucider le mode de naissance des grains de chlorophylle et les relations de ces corps avec les grains d'amidon préexistants, étudient, uniquement au point de vue du contenu des cellules, la germination : le premier, du *Phaseolus multiflorus* ; le second, outre cette même plante, des *Pisum sativum*, *Polygonum Fagopyrum*, *Agrostemma Githago*, *Mirabilis Jalapa*, *Pinus sylvestris*, *nigricans* et *Picea*, *Abies excelsa*, *Thuia orientalis*, *Lepidium*, *Linum*, *Raphanus*, *Cucurbita*, *Helianthus*, etc.

Enfin Faivre décrit chez une seule plante, le *Tragopogon porrifolius* (4), la formation dans le cotylédon, pendant le développement germinatif, de vaisseaux laticifères.

Si l'on cherche à résumer les documents qui peuvent être utilisés, dans la littérature actuelle, pour le sujet qui nous occupe, on voit que la plupart des travaux cités ci-dessus, conçus à un point de vue tout à fait étranger à l'anatomie comparée, ne peuvent lui fournir de données générales. En raison même des motifs variés pour lesquels les ont entrepris

(1) Van Tieghem, *Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*Ann. des sc. nat.*, 5^e série, 1872, t. XVI, p. 96).

(2) Hugo de Vries, *Keimungsgeschichte des Rothenklees* (*Landw. Jahrb. von Nathusius und Thiel*, 1877). D'après Just Jahresbericht.

(3) Haberland, *Ueber die Entstehung des Chlorophyllkörner in den Keimblättern von Phaseolus vulgaris* (*Botanische Zeit.*, 1877, p. 361 et 377). — Mikosch, *Untersuchungen über die Entstehung der Chlorophyllkörner* (*Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 1878, LXXVIII Band, 2 Heft, Juli).

(4) E. Faivre, *Recherches sur la formation du latex et des laticifères, pendant l'évolution germinative du Tragopogon porrifolius*. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1879, t. LXXXVIII, p. 269 et 369).

leurs auteurs, ils pèchent d'abord par le choix des espèces étudiées et par l'esprit qui a dicté les descriptions.

Les espèces choisies par chaque auteur sont trop peu nombreuses ; ensuite il arrive qu'elles appartiennent toutes à une seule des catégories de cotylédons qui seront plus loin établies. C'est par suite de cette circonstance que Gris a été amené à conclure à tort que, « quelle que soit la structure des graines, que le périsperme qui les accompagne soit charnu, farineux ou corné, qu'elles soient dépourvues de périsperme, et que l'embryon, toujours riche en aleurone, soit plus ou moins oléagineux ou amylacé, la série des phénomènes fondamentaux qui président au développement du germe offre une simplicité et une uniformité remarquables. »

Les descriptions, pour les motifs déjà indiqués, sont, à notre point de vue, incomplètes, et, de plus, ne sont pas comparables entre elles. Aussi ne peut-on en tirer, pour la structure comparée, aucune indication générale, si ce n'est que chez les albumens, contrairement à ce qui a lieu chez les cotylédons, les cellules sont toujours exactement reliées sans jamais laisser entre elles le plus petit méat. Quant au contenu des cellules, on peut extraire de ces travaux les données générales suivantes : Pendant la germination des cotylédons étudiés, qui tous appartiennent au groupe des cotylédons aleurifères, l'aleurone se résorbe d'abord ; puis il apparaît de l'amidon de nouvelle formation, particulièrement abondant autour des faisceaux vasculaires ; ensuite il se forme quelquefois des grains de chlorophylle. Mais les circonstances dans lesquelles ces corps naissent et disparaissent, leurs relations les uns avec les autres et avec les autres parties du contenu de la cellule, avec la forme du cotylédon et l'évolution de ses tissus, sont entièrement négligées.

Enfin, le développement des cotylédons et de l'albumen antérieurement à la maturité, c'est-à-dire pendant la moitié de leur existence, n'a nulle part été traité.

C'est dans le but de combler ces lacunes que j'ai entrepris le présent travail.

EXPOSÉ DES OBSERVATIONS.

Le présent chapitre contient l'étude du développement d'un certain nombre de cotylédons et d'albumens qui m'ont paru représenter le mieux les différents types de ce développement. Quelquefois j'ai suivi le cotylédon pendant toute son existence, avant sa maturité, à sa maturité et pendant la germination; dans d'autres cas, soit que je l'aie jugée inutile, ou que des circonstances telles que la difficulté de me procurer la graine à certaines périodes me l'aient rendue impossible, j'ai supprimé tantôt l'étude de sa formation, tantôt celle de sa germination. J'ai toujours placé en tête des descriptions l'examen de la graine à l'état de vie latente. Bien que cet ordre ne soit pas conforme à la chronologie et ne paraisse pas naturel, je n'ai pas hésité à l'adopter, parce que la connaissance de la graine au repos est un guide utile pour l'étude des autres périodes de son existence. J'ai pu éviter par là bien des observations inutiles et des erreurs, et je pense que le Lecteur y trouvera aussi quelques avantages.

Les cotylédons offrent, quant à leur développement, un grand nombre de variétés sur lesquelles nous reviendrons plus tard. Qu'il nous suffise de dire, pour le moment, qu'ils peuvent se rapporter à deux groupes principaux, basés sur la nature de leur réserve à l'état de vie latente : 1^o les cotylédons à réserve purement amylacée; 2^o ceux qui contiennent de l'aleurone.

C'est dans cet ordre qu'ils seront décrits.

1. - COTYLÉDONS A RÉSERVE FIGURÉE PUREMENT AMYLACÉE.

ÆSCULUS HIPPOCASTANUM L.

Embryon.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — L'embryon exalbuminé de l'*Æsculus Hippocastanum* occupe toute la capacité du tégument séminal. Ses cotylédons énormes ne présentent pas un égal développement, et la surface qui les sépare est loin d'être plane. Bien que se détachant difficilement l'un de l'autre, précisément à cause de l'inégalité de leurs surfaces en contact, ils ne sont cependant pas soudés, comme on l'indique souvent.

TISSUS. — *Épiderme*. — L'épiderme présente une structure que je n'ai retrouvée dans aucune autre graine.

Il se compose, sur les deux faces de l'organe, de cellules tabulaires larges et extrêmement surbaissées, dont les parois latérales sont renforcées par des arcs-boutants très solides, opposés deux à deux, s'appuyant, d'une part sur la paroi interne, de l'autre sur la paroi externe de la cellule. Avec ces caractères généraux, on remarque, entre les deux épidermes, quelques différences qui se traduisent par une solidité plus grande de l'épiderme inférieur (comparez les fig. 1 et 4, pl. 1). Les cotylédons ne s'écartant pas l'un de l'autre, même pendant la germination, leurs faces supérieures ne sont jamais exposées aux influences extérieures, et il est inutile que l'épiderme y acquière l'épaisseur qu'il a sur la face opposée. Nous rencontrerons ce fait, en opposition avec ce qui a lieu dans les feuilles ordinaires, chez beaucoup de cotylédons.

Outre cette première différence, tandis que l'épiderme inférieur a ses parois latérales planes, l'épiderme supérieur les a irrégulièrement courbes; les contreforts s'y dilatent au som-

met, et souvent se terminent par une petite plate-forme (pl. I, fig. 4).

La coupe radiale de ces épidermes est, à première vue, difficile à rapprocher de la coupe tangentielle. Au lieu de trouver des cavités cellulaires larges, comme on pouvait s'y attendre, on voit une série de petites cavités séparées par des cloisons épaisses (pl. I, fig. 3 et 7). Cette coupe s'interprète de la façon suivante : la mince tranche de tissu enlevée par deux coups de rasoir successifs comprend plus de la moitié de la largeur d'une cellule épidermique, en sorte que ce que l'on aperçoit au microscope se compose principalement des parois latérales vues de côté ; les petites cavités correspondent aux intervalles situés entre les arcs-boutants, et les cloisons de séparation aux arcs-boutants eux-mêmes.

Les deux épidermes, recouverts d'une mince cuticule, nous ont donné les réactions de la cellulose.

Parenchyme. — Le parenchyme, homogène, se compose de grandes cellules polyédriques à angles arrondis, laissant entre elles des méats peu considérables. En se rapprochant des épidermes, les cellules deviennent plus petites ; cette diminution de volume se fait déjà sentir à partir du sixième ou du huitième rang à l'intérieur du parenchyme. Contre les épidermes, on trouve des éléments dont le diamètre n'est plus que la cinquième ou la sixième partie de ceux du centre de l'organe.

Les membranes cellulaires, assez épaissies, sont de nature cellulosique ; cependant l'iode seul les colore déjà faiblement en bleu, ce qui y indiquerait le mélange d'une petite quantité de granulose. Les parties de membrane qui continrent à la cavité cellulaire et non aux méats, présentent des plaques de ponctuations réticulées d'un dessin très élégant.

Nervation. — Je décrirai d'abord la course des faisceaux ; je m'occuperai ensuite de leur composition histologique.

Les nervures ne s'étalent pas suivant une surface, comme nous le remarquerons dans plusieurs cotylédons ; elles se distribuent au hasard dans toute l'épaisseur du parenchyme, en

sorte qu'une coupe transversale de l'organe présente dans toute son étendue, et irrégulièrement disséminées, des sections de nervures (1).

Les faisceaux vasculaires arrivent, du court pétiole cotylédonaire, au nombre de six à huit à peu près également espacés. Dès leur arrivée dans le cotylédon, ils fournissent quelques branches principales. Celles-ci s'écartent l'une de l'autre, de manière à occuper toute la largeur de l'organe, et forment rapidement un éventail très ouvert; elles se subdivisent de la même manière que les nervures primitives, donnant des rameaux qui s'en détachent à angles très aigus. Cette ramification se continuant, les nervures arrivent aux bords du cotylédon en très grand nombre, à peu près parallèles entre elles, et s'y terminent librement. Dans l'intérieur de l'organe, quelques arcs se remarquent qui relient entre elles de grandes nervures, et sur leur convexité donnent naissance à quelques nervures plus petites. La nervation palmée, sans nervure médiane, présente donc des terminaisons libres à l'intérieur des mailles et vers la marge du cotylédon.

Un faisceau assez fort, pris dans la région inférieure du cotylédon, se compose d'un liber extérieur, d'une zone ligneuse interne ou supérieure, et, entre les deux, d'une couche ininterrompue de cellules génératrices. Le liber a une structure assez compliquée; on y trouve une intrication compliquée de cellules à section très faible et quelques éléments à beaucoup plus grande ouverture. Dans la région ligneuse, au milieu des cellules qui ont conservé l'aspect du procambium, on remarque quelques vaisseaux épars ne formant pas une couche continue. Malgré la présence du cambium, on ne voit pas encore de bois secondaire.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique*. — Le corps protoplasmique, dans toute l'étendue du cotylédon, est con-

(1) Dans la figure 56, destinée à représenter cette nervation, j'ai dû supposer les différents faisceaux rabattus sur un plan parallèle à la face supérieure du cotylédon.

stitué par une mince couche de protoplasma pariétal contenant, dans un de ses points, un noyau volumineux avec un nucléole brillant.

Dérivés du protoplasma. — La réserve de cette graine se compose d'huile et d'amidon. Nous nous occuperons de l'amidon, qui seul a pris forme.

Les cellules sont complètement remplies de grains d'amidon de dimensions variables, mais en général considérables. La forme de ces grains est ovale ou elliptique ; les plus gros atteignent 2 centièmes de millimètre de grand diamètre ; le plus grand nombre a environ 0^{mm},015. Entre ces grains, l'espace est rempli par d'autres très petits, sphéroïdaux, dont quelques-uns n'ont que 3 millièmes de millimètre de largeur ; les gros grains ont un hile souvent excentrique, linéaire ou étoilé, mais on n'y voit pas trace de stratification.

La plupart de ces grains ne sont pas adhérents à l'utricule protoplasmique ; ils sont épars et libres dans la cavité cellulaire, directement en contact les uns avec les autres, sans être reliés par du protoplasma. Lors de l'étude du développement embryonnaire de ce cotylédon, j'expliquerai comment ces grains d'amidon, non en contact avec le protoplasma, ont pu s'accroître, et pourquoi ils sont de dimensions différentes.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Forme extérieure. — L'embryon est blanc pendant toute cette période. Dans le premier état que j'ai pu me procurer, les cotylédons, égaux, avaient à peu près 10 millimètres de longueur, 8 de largeur et 2 d'épaisseur ; ils présentaient sur leur face supérieure une gouttière longitudinale et étaient éloignés l'un de l'autre de 3 ou 4 millimètres. A partir de ce moment, les cotylédons vont s'agrandissant et se rapprochant l'un de l'autre, de manière à amener bientôt en contact leurs faces supérieures ; la radicule et l'axe tout entier de l'embryon se recourbent suivant le plan principal de la jeune plante ; le

cotylédon qui est situé dans la concavité de cette courbe demeure beaucoup plus petit que l'autre.

Tissus. — Épiderme. — L'épiderme se présente d'abord sur les deux faces avec des caractères identiques; il est composé de cellules tabulaires assez surbaissées; les parois latérales, rectilignes, déterminent sur cet épiderme des polygones irréguliers, en général allongés suivant l'axe longitudinal du cotylédon. Toutes les membranes sont minces, unies, incolores; elles ne présentent encore aucune trace des épaississements en arcs-boutants que l'on y rencontre plus tard; de nature cellulosique, elles sont déjà recouvertes d'une mince lamelle de cutine. Les cellules ne se divisent plus; c'est par leur accroissement considérable, surtout à la face inférieure du cotylédon, qu'elles suivent l'extension de l'organe; les contreforts des parois latérales apparaissent d'abord dans l'épiderme inférieur, où ils sont toujours plus développés que dans l'épiderme supérieur; déjà ils ont acquis, dans la première de ces membranes, leurs dimensions définitives et n'auront plus qu'à s'épaissir (pl. 1, fig. 5), qu'ils revêtent encore dans la seconde, vue de face, la forme de pointes courtes (pl. 1, fig. 6).

Parenchyme. — Le parenchyme, pendant tout le temps du développement embryonnaire, se compose d'éléments de même forme que ceux que nous avons vus à l'état de maturité, c'est-à-dire de cellules globuleuses laissant entre elles des méats aérifères. Au voisinage des épidermes et autour des faisceaux vasculaires, les cellules se sont toujours montrées plus petites qu'au centre de l'organe. Pendant les premiers temps du développement, les cellules parenchymateuses ne s'agrandissent que peu, mais se divisent souvent, principalement par des cloisons parallèles aux faces du cotylédon; c'est par ces divisions que le volume du cotylédon augmente. Dès que cet organe a atteint, en mesures linéaires, la moitié de ses dimensions à l'état latent, qu'il est encore loin, par conséquent, de son volume définitif, la multiplication des cellules

cesse ; mais elles commencent alors à s'accroître activement, et c'est uniquement grâce à cet agrandissement que l'organe arrive à l'état adulte ; c'est à ce même moment que les parois commencent à s'épaissir.

Nervation. — Dans le plus jeune état examiné, on aperçoit déjà des nervures assez abondantes (pl. 5, fig. 57). Le court pétiole reçoit de l'axe trois ou quatre faisceaux qui se ramifient dès leur entrée dans le cotylédon, et donnent les nervures principales qui ont été observées à la maturité. Les faisceaux ainsi formés, au nombre de huit ou dix, se dirigent, à peu près en ligne droite, vers le sommet du cotylédon, en s'écartant en éventail, de manière à en occuper toute la largeur ; durant leur trajet, ils ne s'anastomosent jamais, mais émettent, des deux côtés, de petits ramuscules droits qui s'éteignent bientôt, sans faire dévier de sa course la nervure principale. Cette nervation se développe ensuite par la ramification des faisceaux existants en branches aussi fortes qu'eux, et par leur réunion au moyen d'anastomoses transversales. C'est ainsi que le cotylédon possède bientôt, avant même que le parenchyme cesse de diviser ses cellules, son système définitif de nervures.

Le faisceau se compose d'abord presque exclusivement de tissu procambial. Il s'est déjà formé, cependant, à sa face supérieure, quelques vaisseaux spiralés. On suivra facilement, sans qu'il soit besoin de les décrire, les modifications qui amènent le faisceau de l'état initial, qui vient d'être relaté, à l'état de maturité.

CONTENU CELLULAIRE. — Corps protoplasmique. — Le protoplasma consiste d'abord en une couche mince, pariétale, tapissant la membrane ; on y voit un noyau central contenant un nucléole brillant, et relié à l'enduit périphérique par des filaments très déliés de matière protéique. Les bandes rayonnantes disparaissent bientôt, en même temps que le noyau va occuper un point de la couche protoplasmique pariétale.

Dérivés du protoplasma. — Les seuls corps figurés naissant

dans les cellules de ce cotylédon, pendant son développement embryonnaire, sont des grains d'amidon. Ils se forment à la périphérie de la cellule, inclus dans le protoplasma pariétal; on en trouve aussi quelques-uns le long des filaments qui relient le noyau à l'utricule, et enfin le noyau en est entouré. Quelques-uns, des plus petits, portent sur le côté un croissant de substance protéique, qui est sans doute le leucite qui les a formés. Autour des plus gros, on aperçoit fréquemment une couche mince, nettement limitée, de protoplasma, qui doit être un leucite épuisé. Lorsque le protoplasma est devenu uniquement pariétal, ces grains sont tous situés à la périphérie de la cellule; d'abord ils sont quelque peu éloignés l'un de l'autre (pl. 6, fig. 72); plus tard, sans que leur nombre augmente, mais seulement leur volume, ils arrivent à se toucher (pl. 6, fig. 73). Il ne se forme plus de grains d'amidon nouveaux, et l'on peut démontrer par la comparaison de la capacité de la cellule et du volume des grains d'amidon, à cet état et à la maturité de la graine, que le seul accroissement des grains qui existent maintenant suffit à remplir toute la cellule.

Voyons à présent quelle est, pendant le développement des grains d'amidon, leur relation avec l'utricule protoplasmique. Ils se trouvent d'abord, comme on l'a vu, tous dans l'épaisseur de la couche pariétale du protoplasma, dont ils occupent toute la superficie sans se superposer; leur diamètre venant à augmenter, ils ne peuvent bientôt plus rester tous adhérents au sac protoplasmique; quelques-uns se détachent, tombent dans le liquide cellulaire et cessent de croître. L'espace qu'ils laissent libre est bientôt comblé par l'accroissement des grains restés en contact avec leur corps nourricier, le protoplasma; puis l'espace devenant de nouveau insuffisant, quelques grains se détachent encore de l'utricule et ont le sort des précédents. Les grains augmentant continuellement de volume, les mêmes faits se reproduisent, et ainsi la cellule se remplit de grains d'amidon détachés successivement de l'utricule primordiale, au contact de laquelle ils ont acquis leur volume définitif. On

voit en même temps par là pourquoi les grains d'amidon décollés de la couche protoplasmique pariétale, surpris par l'arrêt de développement à des moments différents de leur existence, ont aussi des volumes différents.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Pendant la germination, les cotylédons du Marronnier demeurent hypogés et ne verdissent pas ; toujours appliqués l'un contre l'autre, ils ne font que se gonfler légèrement.

TISSUS. — *Épiderme*. — Les cellules de l'épiderme inférieur s'agrandissent quelque peu, pour suivre le gonflement du cotylédon, mais ne se divisent pas. Il était à prévoir, d'ailleurs, que des éléments à parois aussi épaisses et d'une structure aussi compliquée, avaient atteint leur état définitif et ne pouvaient plus proliférer. Disons en passant que, pour la même raison, des stomates n'ont pu se former aux dépens des cellules de cet épiderme. Les membranes se sont encore déformées, sont devenues courbes et sinueuses, en sorte que la cellule entière, vue de face, ne représente plus, comme autrefois, un polygone, mais une figure irrégulière. Des changements importants se manifestent, en outre, dans la paroi elle-même ; son épaisseur a diminué de près de moitié, et les arcs-boutants, qui ont subi la même perte de substance, mais n'ont pas diminué de longueur, paraissent proéminer davantage sur la paroi amincie. Il suit de là que l'épiderme inférieur contribuait, dans une certaine mesure, à contenir, sous forme de cellulose, la réserve hydrocarbonée de la graine. Enfin une dernière différence entre cet état et l'état latent consiste en ce que l'épiderme inférieur se subérifie complètement vers la fin de la germination.

L'épiderme supérieur présente, comparé à celui de la graine mûre, des différences moins sensibles que l'épiderme inférieur. Ceci tient, d'une part, à ce que le tissu a les membranes beau-

coup moins épaisses, et que, d'autre part, la face du cotylédon qu'il recouvre s'étend moins pendant la germination et n'est jamais mise à nu. Les parois cellulaires ne peuvent que diminuer faiblement d'épaisseur; la cellule, ne s'étendant pas, ne peut se déformer, et ensuite, puisque cet épiderme est continuellement en contact avec son homologue de l'autre cotylédon et n'est jamais exposé aux influences extérieures, la subérification des membranes devient inutile.

Parenchyme. — Les modifications que le parenchyme éprouve pendant la germination ne nous arrêteront pas longtemps. Nous retrouvons exactement le même tissu qu'à l'état latent; les cellules ont dû s'agrandir légèrement en raison du gonflement de l'organe, mais cette extension n'est pas sensible pour chacune d'elles, et ne se remarque pas sur les préparations histologiques; les membranes ont diminué sensiblement d'épaisseur. La seule différence importante consiste en ce que la moitié externe environ des cellules situées immédiatement sous l'épiderme s'est subérifiée.

Nervation. — La distribution des faisceaux vasculaires n'a pas varié pendant la germination. La composition du faisceau présente elle-même assez peu de différence avec l'état latent. Par le jeu de la couche cambiale, quelques nouveaux vaisseaux ont pris naissance en dehors des vaisseaux primaires, mais ils ne forment pas une couche continue. Au bord inférieur du liber se remarquent, constituant une assise irrégulière, quelques cellules épaissies et lignifiées, mais qui n'arrivent pas à l'aspect et à la solidité des fibres. Je n'ai observé de cellules criblées dans le tissu libérien à aucune époque de la germination, mais seulement des ponctuations simples.

On voit donc que la nervation s'est maintenue, pendant la période germinative, à peu près au même état où nous l'avons trouvée à l'état latent.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Nous rencontrons le même corps protoplasmique que nous avons

décrit ci-dessus. Le noyau est devenu très granuleux; son contour irrégulier ne présente plus de limite nette.

Dérivés du protoplasma. — L'huile et l'amidon, les deux substances de réserve les plus importantes de cette graine, ont été presque entièrement résorbés.

L'huile ne se retrouve plus que sur le bord des coupes, près des épidermes; dans l'intérieur du tissu on n'en voit que très peu. L'amidon a presque entièrement disparu; pendant qu'à l'état latent les grains remplissaient complètement la cellule, ici on n'en remarque plus que quelques-uns, quatre ou cinq par cellule, rarement dix ou quinze; quelques cellules en manquent tout à fait. Enfin, les derniers grains d'amidon sont beaucoup plus petits que ceux du cotylédon au repos.

À quelque moment de la germination que j'aie examiné les grains d'amidon, je n'en ai jamais trouvé de corrodés; leur surface était toujours très nette. La résorption de l'amidon a donc lieu par le mode connu sous le nom de dissolution égale.

ERIOBOTRYA JAPONICA Lindl.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — La forme des cotylédons de l'*Eriobotrya japonica* varie avec la façon dont les graines sont placées dans l'ovaire. Mais, en général, la graine représente un ovoïde irrégulièrement aplati, long de 45 à 48 millimètres, large de 14 à 15, et épais d'environ 10; elle consiste uniquement en un embryon composé de deux cotylédons sensiblement égaux, réunis par leur face plane, et attachés, sans aucun indice de pétiole, à une plantule très petite.

Les cotylédons, bien que renfermés dans les téguments séminaux et dans la pulpe épaisse du fruit, présentent souvent par places une légère coloration verte.

TISSUS. — *Épiderme.* — L'épiderme est composé, sur les deux faces du cotylédon, d'un seul rang de cellules tabulaires

qui, vues de face, présentent un contour polygonal irrégulier. On remarque facilement que plusieurs de ces cellules, deux, trois ou quatre, à parois latérales plus minces, sont groupées en un ensemble à parois plus épaisses; ce petit groupe représente une cellule primordiale et ses subdivisions, dont les parois ne se sont pas encore aussi épaissies que celles de la cellule mère. Nous pouvons voir, par là, que la division de ces cellules primitives s'est produite dans tous les sens et a, par conséquent, accru la surface de l'épiderme dans toutes les directions (pl. 1, fig. 9).

Il n'y a de stomates ni sur la face inférieure, ni sur la face supérieure de ce cotylédon.

Parenchyme. — Le parenchyme, homogène, est composé de cellules sphéroïdales diminuant légèrement de dimension au voisinage des épidermes, et laissant entre elles de petits méats aérifères.

Les membranes cellulaires ont une certaine épaisseur, ce qui contribue à donner au tissu une dureté assez considérable; elles sont de nature cellulosique.

Nervation. — Le système des nervures est situé vers le milieu de l'épaisseur du cotylédon; il se distribue sur une surface courbe, se tenant à égale distance des deux faces de l'organe (pl. 2, fig. 32). On y distingue trois faisceaux principaux, naissant isolément de la radicule (pl. 3, fig. 42). L'un de ces faisceaux, le médian, présente un plus grand développement que les deux autres; il parvient jusqu'au sommet du cotylédon, en émettant sur ses côtés de nombreuses branches qui, après s'être elles-mêmes ramifiées une ou plusieurs fois, arrivent jusque assez près des bords de la feuille embryonnaire; c'est donc cette branche médiane qui parcourt et occupe le plus grand espace. Les deux faisceaux latéraux, à peu près symétriques par rapport à l'axe de l'organe, entrent dans le cotylédon très près de la nervure médiane, s'en écartent rapidement pour se tenir à peu de distance des bords du cotylédon, et émettent de chaque côté des branches courtes généralement simples.

Les nervures, disposées, comme on le voit, suivant le mode palmé, ne s'anastomosent pas (1).

Les faisceaux vasculaires de l'*Eriobotrya japonica* ont déjà atteint, à l'époque de la maturité de la graine, une grande perfection ; ils possèdent à leur face supérieure de nombreuses trachées réparties sur une ligne assez étendue. Sur la face inférieure ou externe du faisceau, on trouve un liber mou formant un réseau très compliqué. Enfin, entre les deux tissus existe une couche génératrice faible, formée de quelques séries radiales de cellules.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Il consiste en une couche mince, hyaline et pariétale de protoplasma, contenant en un de ses points un noyau granuleux, à nucléole brillant.

Dérivés du protoplasma. — Le parenchyme contient des grains d'amidon volumineux, épars dans la cavité cellulaire comme ceux du Marronnier. On leur reconnaît une stratification vague et un hile punctiforme de couleur plus claire que le reste du grain. Rarement ils sont simples ; ils présentent alors la forme sphérique. Le plus souvent ils se réunissent en grains composés. Les grains partiels, au nombre de deux, trois ou quatre, se disposent diversement ; quand il y en a trois, ils peuvent se placer en ligne droite ou autour d'un point ; lorsqu'ils sont au nombre de quatre, ils occupent les sommets d'un tétraèdre.

A la face inférieure du cotylédon, dès le troisième ou le quatrième rang de cellules à partir de l'épiderme, les grains d'ami-

(1) Pour préparer cette nervation, j'ai fait bouillir le cotylédon dans la potasse, afin de transformer l'amidon en empois, et d'amener ainsi le ramollissement de l'organe. Cela fait, j'ai lavé à grande eau pour enlever la potasse, puis laissé macérer pendant plusieurs jours dans de l'acide sulfurique aux deux tiers, contenant de la fuchsine en solution. Ce réactif dissout la cellulose ou au moins la ramollit, et il ne reste plus d'inattaqué que le bois des faisceaux. En disséquant ensuite sous l'eau, on obtient la course des nervures, d'autant plus facilement que leur bois a été coloré en rouge par la fuchsine.

don diminuent progressivement de volume, et, dans les assises les plus externes, se réduisent à l'état de granulations.

Les épidermes ne renferment pas d'amidon.

Les parties du cotylédon colorées en vert n'ont pas pour cela un contenu particulier; aucune formation spéciale ne s'y est produite. Le verdissement est dû à ce que du pigment chlorophyllien s'est déposé, dans les cellules vertes, sur le protoplasma et les grains d'amidon.

GERMINATION.

FORME EXTERIEURE. — Pendant la germination, la graine reste hypogée; elle se gonfle assez fortement. Les cotylédons verdissent par places, mais ce verdissement n'est jamais beaucoup plus considérable qu'à l'état de repos.

Tissus. — *Épiderme*. — Les cellules de l'épiderme supérieur ne se divisent pas, mais s'accroissent dans tous les sens, proportionnellement à l'augmentation de volume du cotylédon; celles de l'épiderme inférieur, au contraire, se multiplient activement, et les cellules filles restent toujours plus petites que les cellules mères. On trouve donc à la fin de la germination, dans chacune des cellules épidermiques de l'état latent, plusieurs cellules de nouvelle génération, se reconnaissant à leurs parois minces (pl. I, fig. 10). Il ne se forme ni poils, ni stomates.

Parenchyme. — Le parenchyme ne présente rien d'intéressant à signaler; ses cellules se sont légèrement agrandies, sans se subdiviser.

Nervation. — La nervation conserve la même disposition qu'à l'état latent, mais la composition du faisceau libéro-ligneux devient plus compliquée par suite de l'activité de la couche cambiale. Du bois secondaire a pris naissance; il forme dans la nervure médiane un arc semi-circulaire à concavité supérieure, composé de séries radiales de cinq ou six vaisseaux. Le liber ne paraît pas s'être accru.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique ne varie pas pendant la germination. Les grains d'amidon se résorbent, et aucune autre formation figurée ne leur succède. C'est un des cas rares où j'ai observé la résorption locale des grains d'amidon. En même temps qu'ils sont corrodés suivant un processus bien connu, les parties qui en restent sont chimiquement altérées ; au lieu de se colorer, comme précédemment, en bleu indigo au contact des solutions iodées, elles prennent maintenant une coloration rouge cuivreux.

La dissolution de l'amidon n'est jamais complète ; lorsque le cotylédon se flétrit, il renferme encore une abondante quantité de cette réserve.

Les places où la coloration verte a augmenté pendant la germination m'ont donné les mêmes résultats qu'à l'état latent. Ici encore c'est le protoplasma ainsi que les grains d'amidon qui se sont chargés de matière colorante chlorophyllienne, sans que de vrais grains de chlorophylle aient pris naissance.

QUERCUS MIRBECKII Durieu.

LA GRAINE MURE.

La graine des Chênes, semblable chez toutes les espèces, est connue de tout le monde ; je me dispenserai d'en donner la description externe.

TISSUS. — *Épiderme.* — Les deux épidermes sont simples, à parois minces et cellulósiques ; vers l'extérieur ils sont recouverts d'une mince cuticule. Les cellules de l'épiderme inférieur représentent, vues de face, des polygones isodiamétriques ; celles de l'épiderme supérieur, plus grandes, s'allongent un peu dans le sens de la longueur de l'organe. Les stomates et les poils manquent à la surface de cette graine.

Parenchyme. — Le parenchyme, homogène et à méats, se

compose de cellules polyédriques à parois minces et celluloseuses (1).

Nervation (2). — De chacun des angles de la rainure occupée par le pétiole cotylédonaire, part un gros faisceau qui se partage bientôt en trois autres (pl. 4, fig. 54). L'un, interne, parcourt le cotylédon dans toute sa longueur, vers sa partie médiane; il se divise peu dans le plan de la commissure cotylédonaire. Le faisceau moyen vascularise le bord du cotylédon, où il décrit plusieurs arcades et donne quelques filets. Enfin la nervure externe, se retournant brusquement, se répand dans l'oreillette.

Les nervures principales qui viennent d'être décrites se distribuent dans un plan parallèle à la face supérieure du cotylédon, situé à une profondeur d'un demi à un millimètre. La partie inférieure du cotylédon est vascularisée par des rameaux profonds qui se détachent de la face inférieure des précédents, et s'enfoncent obliquement dans le parenchyme.

Nous avons déjà dit que le faisceau ne présentait qu'un faible développement; il n'est guère plus large dans sa totalité qu'une des grandes cellules du parenchyme. Il est déjà différencié en bois et en liber. Le bois, sous forme de vaisseaux spiralés, occupe un petit îlot à la face supérieure du faisceau; toute la partie qui reste présente les caractères du tissu pro-

(1) Lorsque l'on fait des coupes dans les cotylédons du Chêne, il faut éviter de se servir d'eau pour mouiller le rasoir, car alors il se forme du tannate de fer qui se dépose sur la préparation et la rend illisible. En employant l'alcool, on évite cet inconvénient.

(2) L'étude de la marche des faisceaux vasculaires n'a pu être faite par le procédé que j'emploie habituellement pour les cotylédons épais et amylières, c'est-à-dire par la macération dans la potasse pour dissoudre l'amidon, ensuite dans l'acide sulfurique fuchsiné, pour ramollir les membranes celluloseuses et colorer en même temps le bois des faisceaux. Dans cette graine, les nervures sont tellement fines, que l'on ne peut plus les retrouver dans la pulpe formée par le parenchyme traité comme il vient d'être dit. J'ai dû d'abord débiter le cotylédon en tranches minces, par une série continue de coupes longitudinales successives, parallèles à sa face supérieure. Chacune des coupes a été ensuite traitée par la fuchsine ammoniacale. Examinées à un faible grossissement, ces préparations combinées m'ont donné le mode de distribution des faisceaux.

cambial. Une assise génératrice intra-fasciculaire ne paraît pas jusqu'ici avoir pris naissance.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique se compose d'une couche pariétale mince de protoplasma et d'un noyau également pariétal.

La réserve figurée de cette graine est exclusivement constituée par des grains d'amidon, non adhérents à l'enduit protoplasmique, épars par conséquent dans la cavité cellulaire. Ils remplissent toutes les cellules du parenchyme; on en trouve aussi dans l'épiderme supérieur, mais non dans l'épiderme inférieur; les faisceaux en sont dépourvus.

Les grains d'amidon, de forme ovoïde et de dimensions variées, sont presque toujours simples. Les plus gros ont de 5 à 8 millièmes de millimètre de diamètre; ils possèdent seuls un hile linéaire et une stratification vague.

Dans la plus grande partie du parenchyme, on trouve mêlés des grains de toute grandeur; au voisinage de l'épiderme inférieur, les plus petits existent seuls, ainsi que dans les cellules de l'épiderme supérieur.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Pendant la germination, l'axe soulève les cotylédons au-dessus du sol; ils s'écartent l'un de l'autre, deviennent d'un vert foncé, et se gonflent légèrement.

TISSUS. — Aucun changement notable ne se produit dans les tissus du gland sous l'influence de la germination. Il faut seulement indiquer que dans les faisceaux vasculaires il se forme, entre le bois et le liber primaires, une couche ininterrompue de cambium, et que, par l'activité de cette couche, quelques séries de vaisseaux et quelques cellules libériennes secondaires prennent naissance; cependant le faisceau n'arrive pas à un grand développement, ni à une différenciation avancée de ses éléments. Le liber reste mou; je n'y ai pas remarqué de cellules criblées.

CONTENU CELLULAIRE. — Les grains d'amidon disparaissent d'abord presque complètement par le mode de dissolution égale ; puis il se forme à la face inférieure du parenchyme, dans les trois ou quatre assises de cellules qui avoisinent l'épiderme, des grains de chlorophylle.

On vient de voir qu'à la face inférieure du cotylédon, les grains d'amidon sont plus petits que dans le reste du parenchyme ; ils s'y dissolvent plus rapidement, et dès qu'ils ont disparu, commencent à se former les grains de chlorophylle. Il arrive donc un moment où le parenchyme cotylédonaire contient à la partie supérieure des grains d'amidon, et à la partie inférieure des grains de chlorophylle. Ceux-ci naissent par simple épaissement de la couche protoplasmique pariétale qui, dans les endroits épaissis, devient plus dense et plus réfringente. Les épaissements sont toujours plan-convexes ; leur côté convexe est tourné vers la cavité cellulaire, le côté plan s'applique contre la paroi ; ils se rattachent sans interruption, ainsi que les grains de chlorophylle qui en sont l'état le plus développé, à la partie non épaissie de l'enduit plasmatique. Les grains de chlorophylle sont donc hémisphériques et pariétaux ; arrivés à leur complet développement, ils forment chacun à leur intérieur un grain d'amidon composé, qui, en s'agrandissant, détruit progressivement la substance constitutive du grain de chlorophylle ; il n'en reste qu'un mince résidu reliant entre eux les grains partiels d'amidon. La figure 77 (pl. 6) représente un état jeune des grains de chlorophylle ; dans la figure 78 de la même planche, ils sont plus développés et voisins de leur état adulte ; dans les figures 79 et 80, où ils sont vus de profil et de face, l'amidon les remplit exactement.

La matière colorante verte se montre bien avant la naissance des grains de chlorophylle ; elle se dépose dans toute la périphérie du cotylédon sur le protoplasma et les grains d'amidon. Les grains de chlorophylle sont donc colorés en vert dès leur naissance, et la couche de protoplasma qui les relie présente la même coloration ; mais cette couche étant excessive-

ment mince et peu dense, sa coloration ne s'aperçoit que difficilement, tandis qu'au contraire celle des grains de chlorophylle ressort avec netteté. Il en résulte qu'au premier abord les grains de chlorophylle seuls paraissent colorés.

II. — COTYLEDONS ALEURIFÈRES.

ARACHIS HYPOGÆA L.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — L'embryon exalbuminé de cette plante est irrégulièrement elliptique ; il a environ 12 millimètres de longueur et 8 de plus grand diamètre transversal. Il se compose, à part l'axe de la jeune plante, dont nous ne nous occupons pas, de deux cotylédons égaux, qui présentent chacun une face supérieure plane et une face inférieure fortement convexe. Le cotylédon est blanc et de consistance charnue.

TISSUS. — *Épiderme.* — Le cotylédon tout entier est recouvert d'un épiderme simple, dont les éléments varient quelque peu de la face inférieure à la face supérieure de l'organe. Sur la face inférieure, la couche épidermique se compose de cellules tabulaires généralement très allongées dans le sens du grand axe de l'embryon, et souvent courbées. Les cellules de l'épiderme supérieur diffèrent des précédentes en ce que, conservant à peu près la même longueur, elles deviennent beaucoup plus larges ; leur membrane externe est aussi moins épaisse, en sorte qu'elles constituent un tissu moins résistant ; leurs parois latérales, irrégulièrement sinueuses, dessinent, sur un lambeau d'épiderme vu de face, des polygones à contours tourmentés.

On remarque des stomates sur les deux faces du cotylédon ; ils sont plus nombreux et plus petits sur l'épiderme supérieur que sur l'épiderme inférieur. Ces organes ne présentent rien

de remarquable. Une mince lamelle de cutine recouvre la surface entière de l'embryon.

Parenchyme. — La plus grande partie de ce tissu est composée de cellules polyédriques à angles arrondis, entre lesquelles se trouvent de faibles méats aérifères. Les membranes minces, celluloseuses, présentent des réseaux élégants de ponctuations, dans les endroits où elles confinent à deux cavités cellulaires.

A la partie médiane de la face supérieure du cotylédon, les cellules, au lieu d'être distribuées irrégulièrement comme partout ailleurs, se disposent en séries linéaires perpendiculaires à la surface. Les éléments situés contre l'épiderme ont, sur une section transversale de l'organe, la forme de rectangles aplatis tangentiellement et sont exactement empilés les uns sur les autres. Au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre de la feuille embryonnaire, les rectangles augmentent d'épaisseur et passent à la forme carrée. Puis, les cellules devenant de plus en plus grandes, leurs parois perdent leur régularité; les figures acquièrent, par la flexion des parois, plus de quatre côtés, se transforment insensiblement en polygones, et se mêlent peu à peu aux autres cellules du parenchyme (pl. 2, fig. 18). Ici, par conséquent, le parenchyme est hétérogène.

Nervation (1). — Il arrive du pétiole dans le cotylédon deux faisceaux vasculaires assez forts (pl. 3, fig. 45). A peine ont-ils quitté le pétiole, qu'ils se bifurquent. Les quatre

(1) Il est très difficile de l'obtenir sur le cotylédon à l'état latent, parce que les nervures, ne possédant pas encore d'éléments lignifiés, ne peuvent être disséquées qu'avec peine. Les substances dont les cellules parenchymateuses sont remplies, formant une pâte avec les réactifs ramollissants, augmentent encore la difficulté d'une pareille préparation. Mais on a déjà pu voir, et c'est d'ailleurs une des conclusions auxquelles je suis conduit, qu'au moins chez les cotylédons épais, comme celui-ci, la distribution de la nervation ne change plus pendant la germination. J'ai donc traité par l'acide sulfurique fuchsiné, comme je l'ai déjà indiqué, des cotylédons en pleine germination, qui avaient formé du bois; j'ai pu obtenir facilement, par dissection, la course des nervures. J'ai procédé de la même façon pour tous les cotylédons dont les faisceaux sont encore, à la maturité dans l'état procambial.

rameaux ainsi formés sont semblables sous tous les rapports, et symétriques deux à deux par rapport à l'axe du cotylédon. Les deux branches externes se dirigent vers le bord de l'organe, et les internes vers la ligne médiane ; leur trajet est très court, et à 3 millimètres environ de leur point de naissance elles se bifurquent à leur tour, produisant par conséquent huit rameaux. Les deux plus internes s'unissent presque à leur naissance en un cordon unique, médian ; les autres rameaux restent libres. Toutes ces subdivisions se produisant à la base de l'organe, il en résulte, en définitive, qu'il est parcouru par sept faisceaux vasculaires allant de sa base à son sommet, l'un médian, et les autres distribués symétriquement de chaque côté de lui. Pendant leur course, ces faisceaux s'incurvent en dirigeant leur concavité vers le médian, de façon à partager en bandes d'égale largeur la surface sur laquelle ils se distribuent. Ils n'émettent latéralement que de très petits rameaux, qui ne les font pas dévier de leur direction.

Ces nervures sont situées tout contre la face inférieure du cotylédon ; sur leur face supérieure ou ventrale, elles émettent des branches beaucoup plus grandes que sur les côtés. Ces branches se dirigent obliquement vers la face supérieure et le sommet du cotylédon, en se répandant dans l'épaisseur du parenchyme ; elles s'anastomosent fréquemment entre elles et constituent un lacis compliqué dont on peut prendre une idée sur des coupes longitudinales épaisses du cotylédon (pl. 3, fig. 46).

Une coupe transversale de ce cotylédon (pl. 2, fig. 31) montre, par conséquent, près du bord convexe, les sections de sept faisceaux également espacés, dont le médian est le plus développé. Dans l'espace circonscrit par cette ligne de nervures et le bord droit de la coupe, se trouvent des traces de nervures coupées obliquement et irrégulièrement disséminées.

Les faisceaux sont encore à l'état procambial.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Le protoplasma se retrouve ici avec les caractères que nous lui avons toujours reconnus dans les graines mûres. Il forme une couche pariétale extrêmement mince, appliquée contre la membrane ; il ne peut se voir s'il n'a pas été coloré. Le noyau cellulaire est aussi devenu pariétal. Dans les ponctuations de la paroi, on observe, après traitement par l'éosine, une coloration rose plus foncée qu'ailleurs ; le protoplasma possède donc, à l'endroit de ces petites cavités, une épaisseur plus grande que sur le reste du pourtour de la cellule.

Dérivés du protoplasma. — La réserve figurée de ce cotylédon se compose de grains d'amidon et de grains d'aleurone, séparés de la couche pariétale de protoplasma et libres dans la cavité cellulaire.

Ces deux sortes d'enclaves se ressemblent beaucoup par leurs dimensions, leur couleur et leur réfringence, en sorte qu'au premier examen, sur des coupes qui n'ont subi aucun traitement, on ne peut les distinguer l'une de l'autre avec certitude. Mais si après avoir rendu insolubles les grains d'aleurone par macération dans une solution alcoolique de sublimé, on traite les préparations par l'eau iodée, la distinction se fait facilement par la coloration différente que prennent les deux sortes de grains.

Tous les grains sont sensiblement sphériques ; les grains d'amidon présentent en général de plus grandes dimensions que ceux d'aleurone ; mais le contraire a quelquefois lieu, ce qui fait que l'on ne peut distinguer ces deux formations par leur diamètre. Les grains d'aleurone se montrent en beaucoup plus grand nombre que les grains d'amidon ; on peut donner une idée assez exacte de leur proportion en disant que, sur une coupe optique, on compte environ douze à quinze grains d'amidon, les grains d'aleurone se trouvant en nombre incommensurable.

Après ces généralités, il reste peu à dire de chacun de ces corps figurés.

La plupart des grains d'aleurone possèdent un globoïde

simple, placé excentriquement, tangent intérieurement à la surface du grain. Les grains d'amidon n'offrent ni hile, ni stratification.

Tel est le contenu des cellules du parenchyme. Dans les nervures et les épidermes, il diffère d'abord par l'absence complète de grains d'amidon, et parce que les grains d'aleurone deviennent très petits, se réduisent à l'état de granulations.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Pendant la germination, le cotylédon s'agrandit dans tous les sens ; de 12 millimètres de longueur sur 8 de largeur qu'il avait dans la graine au repos, il arrive à 17 et à 10 millimètres pour les mêmes dimensions. Il verdit après quelque temps d'exposition à la lumière ; enfin, vers le terme de son existence, il se ratatine en se ridant assez fortement dans le sens longitudinal.

TISSUS. — Les cellules épidermiques ne font que s'étendre. Quant au parenchyme, on observe qu'il s'est formé dans le tissu à disposition radiale situé à la face supérieure du cotylédon, par des cloisons parallèles à cette face, une dizaine de nouvelles cellules. Cette prolifération, qui a surtout son siège contre l'épiderme, n'augmente pas sensiblement l'épaisseur de l'organe.

Il ne s'est pas formé de nouvelles nervures ; la nervation a donc conservé la même disposition. Le perfectionnement des faisceaux est très restreint ; il consiste en la différenciation de quelques vaisseaux, que l'on trouve épars à la face supérieure des nervures. Les plus grosses de celles-ci, par l'établissement d'une zone génératrice, ont acquis en outre quelques vaisseaux ligneux secondaires. Le liber est partout resté mou.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — L'enduit pariétal protoplasmique subsiste toujours. Au moment où

le cotylédon revient à la vie active, cet enduit s'épaissit d'une façon assez notable, et devient granuleux sur sa face interne. Vers la fin de la germination, il éprouve une modification inverse; dans les parties du parenchyme éloignées des faisceaux libéro-ligneux et de l'épiderme, il disparaît même presque complètement.

Dérivés du protoplasma. — Trois phases se succèdent pendant la germination dans l'état des réserves : 1° les grains d'aleurone disparaissent; 2° il se produit des grains d'amidon; 3° l'amidon est dissous plus ou moins complètement.

Il est intéressant de s'occuper avec quelques détails de chacune de ces trois phases.

Pendant la première, les grains d'aleurone se résorbent donc, l'amidon n'éprouvant aucune altération. Deux processus, ne différant peut-être que par la façon dont ils se localisent sur les grains d'aleurone, amènent leur dissolution. Dans l'un d'eux, il se produit, par dissolution de la substance, de petites cavités distribuées dans toute l'étendue du grain, mais plus abondantes à la périphérie; il en résulte que le corps aleurique perd son contour net, et que ses bords deviennent déchiquetés, pendant qu'à l'intérieur de sa masse les vides donnent des taches claires irrégulièrement dispersées (pl. 6, fig. 76, *a*). Ces places vides de substance s'agrandissent de plus en plus et finissent par devenir confluentes, en même temps qu'elles diminuent les dimensions du grain par l'usure de sa surface; elles ne tardent donc pas à le faire tomber en lambeaux; ceux-ci continuant à se dissoudre, il ne reste bientôt plus trace du grain d'aleurone.

Dans le second mode de dissolution, le grain est attaqué par un point seulement de sa surface, et il se forme là une cavité circulaire qui lui est intérieurement tangente (pl. 6, fig. 76 *b*). Le point où cette dissolution commence paraît être celui où se trouve le globoïde, situé, comme on sait, à la limite du corps aleurique. Cette enclave minérale disparaît tout d'abord, et c'est à sa place que se trouve le petit vide dont il vient d'être question. Cette cavité s'agrandit, restant toujours tangente in-

térieurement à la surface du grain ; elle transforme celui-ci en un croissant dont l'épaisseur diminue de plus en plus et qui finit par disparaître.

Il peut se présenter une modification à ce dernier cas. Quelquefois l'agent dissolvant, au lieu de détruire les parties les plus extérieures du grain, comme il vient d'être décrit, en laisse subsister une mince pellicule plus ou moins plissée (pl. 6, fig. 76, *d*). Ceci nous indique que les couches superficielles du grain d'aleurone, consistant, comme les parties internes, en matière albuminoïde, en diffèrent cependant par leurs propriétés physiques, et par la façon dont agit sur elles le dissolvant spécial de l'aleurone.

Si j'ai jusqu'ici considéré ces deux modes de dissolution comme isolés, c'est afin de simplifier la description. En réalité, on ne rencontre seul que le premier processus ; le second est toujours aidé du premier. En même temps que le volume du grain diminue par l'agrandissement de la cavité qui s'y forme tangentiellement, la partie restante est elle-même criblée de centres de destruction isolés, qui vont se rapprochant (pl. 6, fig. 76, *c*, *d*, *e*). La dissolution du grain marche alors avec rapidité.

Le deuxième stade établi ci-dessus dans la germination de l'*Arachis hypogæa* est caractérisé principalement par la naissance de l'amidon secondaire. A ce moment, la couche pariétale de protoplasma, que l'on a vue subsister jusque vers la fin de la germination, s'est épaissie, est devenue très granuleuse sur sa face interne et semble avoir repris une grande activité. Elle produit bientôt par simple épaississement, des leucites hémisphériques qui lui restent adhérents, et dans chacun desquels il se forme un grain d'amidon, composé de dix à douze grains partiels. Ceux-ci, d'abord très petits et séparés les uns des autres, s'accroissent jusqu'à se mettre en contact et à résorber presque complètement la substance du leucite. Adoptant la dénomination usitée déjà par quelques auteurs, je désignerai cet amidon qui se produit pendant la germination et que nous rencontrons pour la première fois, par opposition à

celui qui se forme avant la maturité de la graine, sous le nom d'*amidon secondaire* ou de *seconde formation*.

En même temps que l'amidon secondaire, il apparaît dans les cellules des formations globuleuses pouvant se rattacher à quatre types. Les unes, de très petite taille (pl. 6, fig. 81, *a*), se groupent en grand nombre pour former des amas ressemblant à des grappes. Parmi les autres, beaucoup plus volumineuses et dont le diamètre peut dépasser deux fois celui des plus gros grains d'aleurone, on en voit qui portent à leur surface des mamelons nombreux irrégulièrement distribués (pl. 6, fig. 81, *b, c*); quelques-unes sont des masses elliptiques, sur lesquelles on remarque un réseau à mailles fines un peu allongées dans le sens du rayon (pl. 6, fig. 81, *d*). Enfin, j'ai observé une fois une quatrième forme; c'était un corps assez régulièrement sphérique, à bords un peu déchirés, qui paraissait composé de sphères creuses emboîtées les unes dans les autres.

Tous ces corps, à quelque forme qu'ils appartiennent, possèdent les caractères communs suivants : ils sont très réfringents; l'eau les dissout lentement, mais il en reste une mince pellicule se colorant en jaune par l'iode; traités par la potasse en solution même très étendue ($\frac{1}{100}$), ils disparaissent rapidement et la membrane précédente n'est pas conservée; après macération dans la solution alcoolique de sublimé, ils sont devenus insolubles dans l'eau; traités par l'iode, ils se colorent en jaune brun; au contact de l'éosine, ils prennent une coloration d'un beau rouge carmin. Ces corps se comportent donc, aussi bien avec les réactifs dissolvants qu'avec les colorants, exactement comme les matières albuminoïdes. Il ne rentre pas dans le cadre de ce travail, conçu exclusivement au point de vue morphologique, de rechercher de quelle variété de substance albuminoïde ils sont composés.

La germination se termine par la résorption des grains d'amidon de première et de seconde formation, et par celle des corps dont on vient de parler. La dissolution a lieu d'une manière égale sur la surface du grain. Dans le cotylédon prêt à tomber qui a diminué considérablement de volume, ces

substances sont en assez faible quantité, mais n'ont pas disparu entièrement; on les retrouve principalement dans le voisinage des faisceaux vasculaires.

Les trois phases de la germination de l'*Arachis hypogaea* étant examinées, il reste à parler d'un phénomène qui se produit peu de temps après que les cotylédons se sont étalés à la lumière, et qui ne paraît avoir aucune relation avec la nature du contenu cellulaire : c'est le verdissement de la feuille embryonnaire. Il ne se forme pas de grains de chlorophylle, c'est-à-dire de corps spéciaux servant de substratum à la matière colorante; elle se dépose indifféremment sur tous les corps figurés de la cellule, grains d'amidon, grains d'aleurone, corps protoplasmique.

PHASEOLUS VULGARIS L.

GERMINATION.

La graine du Haricot ordinaire est une de celles dont la germination a été le plus étudiée. M. Sachs s'en est d'abord occupé au point de vue des transformations et de la migration des substances de réserve. Gris en a repris l'examen dans ses recherches anatomiques et physiologiques sur la germination; et enfin, plus près de nous, MM. Haberland et Mikosch ont trouvé dans le cotylédon du Haricot en germination des faits sur lesquels ils appuient une manière de voir particulière sur la naissance des grains de chlorophylle (1). N'étant pas d'accord avec ces deux auteurs, je dois rapporter mes propres observations.

Tissus. — *Epiderme.* — La forme externe du cotylédon de Haricot est trop connue pour que je m'y arrête, et je passe tout de suite à sa structure interne.

Les deux épidermes sont simples, composés de cellules tabulaires dont la forme et les dimensions varient d'une face à

(1) Les titres de ces mémoires se trouvent au chapitre de l'histoire, p. 9.

l'autre du cotylédon. A la face supérieure, les cellules sont allongées suivant l'axe du cotylédon. A la face inférieure, les cellules isodiamétriques et disposées sans ordre, sont bien plus petites que sur le côté opposé; leur diamètre n'atteint pas la plus petite dimension des cellules de l'épiderme supérieur.

Il n'y a pas de stomates à cet état.

Une mince cuticule s'étend sur toute la surface de l'organe.

Parenchyme. — Ce tissu est constitué par des cellules polyédriques à parois assez épaisses et cellulósiques, superposées au nombre de vingt-cinq à trente dans la plus grande épaisseur du cotylédon. Ces cellules laissent entre elles de très faibles méats. On remarque, sur les parties de membranes qui séparent deux cavités cellulaires voisines, des réseaux très élégants de punctuations simples, peu profondes.

Nervation — Les nervures, encore à l'état procambial, émergent de la tigelle au nombre de six à huit, puis se dirigent, parallèles entre elles, vers le sommet du cotylédon. Elles émettent, dans leur course, quelques ramifications peu importantes, s'anastomosant quelquefois. La nervation, peu développée, est donc palmée et anastomosée.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cellules du cotylédon sont comblées par des grains d'amidon volumineux, dont trois ou quatre peuvent occuper tout le diamètre de la cellule. Leurs caractères sont d'ailleurs connus. Toute la surface de l'utricule protoplasmique est couverte de très fins granules de matière azotée, exactement placés les uns à côté des autres comme des pavés; ce sont les grains d'aleurone.

Au voisinage de l'épiderme inférieur, le contenu des cellules subit quelques modifications. Le rang immédiatement en contact avec ce tissu ne contient que des grains d'aleurone. Le deuxième rang renferme déjà quelques grains d'amidon, mais encore petits et rares. A partir de là, les grains d'amidon augmentent en nombre et en volume, et dès le cinquième ou sixième rang vers l'intérieur, les cellules ont la composition de celles du centre de l'organe.

Les éléments des épidermes et des nervures sont remplis de grains d'aleurone semblables à ceux du parenchyme, mais non accompagnés de grains d'amidon.

GERMINATION.

TISSUS. — Les tissus varient peu pendant la germination. L'épiderme inférieur seul forme des stomates, par la division, en deux cellules filles de bordure, d'une cellule épidermique qui ne paraît pas différer des autres. La formation des stomates est contemporaine de la différenciation des premières trachées dans les nervures, et de l'apparition, dans les cellules parenchymateuses, des premiers grains d'amidon secondaire.

La seule modification que subit le parenchyme est un amincissement considérable des membranes cellulaires : elles constituaient donc pour l'embryon une réserve de cellulose.

Les nervures, dont le cours ne se modifie plus, acquièrent quelques trachées à leur face supérieure et quelques assises de cellules cambiales ne formant pas une couche continue. Le liber reste mou.

CONTENU CELLULAIRE. — Les grains d'aleurone commencent à disparaître. Puis il se forme de l'amidon secondaire, qui vient se joindre à l'amidon primaire signalé à la période de repos de la graine. La naissance de l'amidon est particulièrement abondante et précoce autour des faisceaux libéro-ligneux, et de là s'étend dans le parenchyme.

Les grains d'amidon naissent à l'intérieur de leucites développés, comme on l'a vu chez l'Arachide et comme on le verra dans plusieurs autres graines, à la face interne de la couche pariétale de protoplasma. A l'intérieur de chacun de ces leucites, il se forme un grain d'amidon composé qui envahit bientôt tout le leucite et le fait disparaître.

Les cotylédons du Haricot vulgaire sont épigés ; quelque temps après qu'ils se sont étalés à la lumière, ils verdissent. Ce phénomène a lieu alors que l'amidon secondaire a déjà pris naissance dans les leucites.

La fin de la germination est marquée par la résorption de

tous les grains d'amidon ; il en subsiste cependant toujours quelques-uns autour des nervures. Mais une fois l'amidon secondaire disparu, il ne reste plus trace des leucites qui le contenaient.

ERYTHRINA CRISTA-GALLI.

La graine de l'Érythrine ne présente pas de différence essentielle avec celle du Haricot, aussi ne m'arrêterai-je que sur quelques points spéciaux.

L'épiderme simple et sans stomates, à cellules isodiamétriques, recouvre un parenchyme homogène à membranes minces et ponctuées. Les espaces intercellulaires de ce tissu sont très développés et encore agrandis par ce fait que les parois qui les limitent se bombent fortement vers les cavités des cellules. Il en résulte un tissu très léger, où les méats aérifères entrent pour autant que les cellules (pl. 2, fig. 49). M. Van Tieghem a appelé sur ce point l'attention des botanistes (1). Lorsque le cotylédon est mouillé, les membranes qui confinent aux lacunes se bombent en sens inverse, et le tissu reprend l'aspect habituel (pl. 2, fig. 20).

La nervation, encore à l'état procambial, a la même disposition que chez le Haricot.

Les cellules du parenchyme contiennent des grains d'aleurone un peu plus volumineux que ceux de la graine précédente et adhérents comme eux à l'enduit protoplasmique pariétal. Si l'on dissout ces corps, le protoplasma présente une réticulation régulière dont chaque maille contient un grain d'aleurone. On y trouve mêlés quelques grains d'amidon de très petite dimension, qui ne peuvent même s'apercevoir qu'après que l'on a traité les coupes par une solution étendue de potasse. Ils sont situés sur les bandelettes du réseau, et quelquefois à leur intersection.

Pendant le développement intra-ovarien de ce cotylédon,

(1) Ph. Van Tieghem, *Observations sur la légèreté spécifique et la structure de l'embryon de quelques Légumineuses* (Mém. de la Soc. des Sc. nat. de Cherbourg, XIX, 1875).

j'ai observé que ses tissus sont déjà entièrement formés alors que le cotylédon, encore petit, atteint à peine la moitié de ses dimensions linéaires définitives. A partir de ce moment, l'organe ne s'accroît plus que par l'agrandissement des cellules préexistantes ; il ne s'en produit plus de nouvelles.

Le cotylédon s'imbibant d'eau dès qu'il est mis en germination, les cellules de son parenchyme reprennent leur forme de l'état de turgescence. Il n'apparaît pas de stomates durant cette période.

LATANIA BORBONICA Lam.

LA GRAINE MURE.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — La forme externe de l'embryon du Latanier se rapproche beaucoup de celle du Dattier, que M. Sachs a étudié à l'état de repos et pendant la germination (1). Il présente l'aspect d'un tronc de cône de 3 à 4 millimètres de hauteur, sur 2 millimètres et demi de diamètre de grande base ; il est logé dans une cavité située à la surface de l'albumen, vers le milieu de sa face latérale, à l'opposite de la chalaze. Sur l'axe longitudinal de ce tronc de cône et près de sa base, se trouve une petite cavité occupée par la gemmule. Le cotylédon est représenté par la coiffe cylindro-conique qui recouvre ce bourgeon initial ; c'est de cette partie seule que nous devons nous occuper.

Tissus. — *Épiderme.* — L'épiderme qui recouvre ce cotylédon se compose de cellules pavimenteuses légèrement allongées perpendiculairement à la surface de l'organe. Les parois de ces cellules sont minces, à l'exception de la paroi externe, légèrement épaissie et revêtue, vers le dehors, d'une lamelle extrêmement délicate de cutine. Malgré leur peu d'épaisseur, les membranes de ces cellules, excepté toutefois l'externe, offrent sur leurs deux faces des ponctuations réticulées très fines, allongées, qui leur donnent une apparence striée.

(1) Sachs, *Zur Keimungsgeschichte der Dattel* (loc. cit.).

Cette disposition se retrouve dans les cellules suivantes, qui composent le parenchyme fondamental de l'organe.

Parenchyme. — Il est constitué par des cellules irrégulièrement polygonales, un peu arrondies à leurs angles, où se trouvent de petits méats aérifères. Ces cellules, assez petites contre l'épiderme et au voisinage des nervures, augmentent progressivement de dimension à mesure qu'elles se rapprochent du centre; leurs parois sont minces et cellulósiques.

Nervation. — Au-dessous du bourgeon caulinaire initial, par conséquent sur l'axe de l'organe, on voit un noyau de tissu méristématique qui émet quatre ou cinq cordons. Ceux-ci se dirigent obliquement et en rayonnant en haut et vers le dehors, en s'écartant progressivement l'un de l'autre; dans ce trajet, ils viennent passer près du bourgeon, puis se dirigent à peu près en ligne droite sur le bord du cotylédon, qu'ils atteignent vers son tiers inférieur (pl. 2, fig. 22).

Les nervures, au fur et à mesure qu'elles s'écartent l'une de l'autre et se rapprochent de l'épiderme, se ramifient suivant deux directions. Elles fournissent d'abord des branches latérales qui se placent entre elles, comblant ainsi l'intervalle de plus en plus grand qui résulte de leur écartement, et qui suivent désormais la même marche que les nervures primitives. Arrivés près du bord du cotylédon, sous l'épiderme, tous ces cordons gagnent le sommet de l'embryon, se tenant toujours parallèles entre eux; ils se rejoignent à l'extrémité supérieure de l'organe, en formant un réseau à mailles rayonnantes.

Il résulte de là que les nervures primitives, avec leurs ramifications latérales, forment un système enveloppant le cotylédon tout entier. Cette disposition est représentée par les figures 22 et 23 (pl. 2), dont la première reproduit une coupe longitudinale médiane de l'organe, et l'autre une coupe transversale.

Nous avons dit que des nervures primitives se détachaient deux ordres de nervures secondaires: les premières, que nous venons d'examiner, sont des ramifications latérales; les secondes naissent au contraire sur la face supérieure ou in-

terne des précédentes, et gagnent la partie centrale de l'organe, où elles demeurent éparses et se ramifient (figures précédentes).

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Ce corps consiste en une couche excessivement mince de protoplasma, contre laquelle on voit, dans plusieurs cellules, un noyau contenant un petit nucléole réfringent.

Dérivés du protoplasma. — Le contenu des cellules varie du sommet à la base du cotylédon. Au sommet, elles sont remplies de grains d'aleurone irréguliers, sans enclaves, dont quelques-uns sont sphériques, les autres anguleux. Lorsque l'on se rapproche de la base du cotylédon, les grains d'aleurone deviennent de plus en plus petits, passent à l'état de granules, et enfin disparaissent complètement dans l'anneau d'insertion du cotylédon. Les cellules conservent donc, en cet endroit, le caractère des cellules végétatives ordinaires. On verra bientôt d'ailleurs que ce sont ces éléments qui produisent, pendant la germination, l'élongation du cotylédon, le sommet restant inclus dans l'albumen.

Albumen.

FORME EXTÉRIEURE. — L'albumen du Latanier a la forme générale bien connue de tous ceux de la famille des Palmiers. Il est elliptique, un peu atténué aux extrémités, et mesure environ 15 millimètres de longueur, sur 8 de plus grand diamètre transversal.

TISSUS. — Le tissu de l'albumen consiste principalement en cellules étroites et allongées, à cloisons de séparation transversales ou obliques. Ces éléments sont disposés en rayonnant tout autour de la chalaze, ce qui fait que, sur une section de faible étendue, ils paraissent parallèles; ils ne laissent nulle part, entre eux, le plus petit espace.

Les cellules présentent les caractères que l'on est habitué à trouver chez les albumens cornés. Les membranes, très épaisses, sont creusées de ponctuations circulaires rappro-

chées, à l'endroit desquelles les cellules voisines ne sont plus séparées que par un mince diaphragme. Sur une coupe transversale, ces cellules montrent une cavité irrégulièrement polygonale, isodiamétrique. Vers l'extérieur de l'albumen, les parois deviennent plus minces et ne portent plus de ponctuations (pl. 2, fig. 21).

Enfin, l'albumen tout entier est recouvert d'une assise de cellules aplaties, tabulaires, très allongées. Cette couche de revêtement forme à l'albumen une sorte d'épiderme qui le termine vers le dehors et l'isole des tissus environnants. Les membranes de cette couche sont minces et colorées en brun. La cavité est remplie d'une substance solide, brune, subéreuse, que l'on rencontre souvent dans les éléments des enveloppes séminales.

Les parois du parenchyme de l'albumen sont de nature cellulosique ; celles de l'épiderme présentent les caractères du suber.

CONTENU CELLULAIRE. — On trouve dans les cellules de l'albumen le même contenu que dans celles de l'embryon. Une couche protoplasmique mince tapisse de toutes parts la membrane. Dans bon nombre de cellules, on voit très bien le noyau avec son nucléole. La cavité est remplie de grains d'aleurone petits, globuleux, sans enclaves. Il n'y a pas trace d'amidon.

GERMINATION.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — Le petit corps cotylédonnaire décrit à l'état latent s'accroît considérablement pendant la germination ; il fait bientôt saillie hors de la cavité qui le contient, et, à partir de ce moment, se divise en deux parties distinctes sous tous les rapports : l'une reste incluse dans l'albumen, l'autre lui devient extérieure ; les deux sont réunies par un pédicule étranglé.

Le corps intérieur à l'albumen ou tête du cotylédon se renfle

d'abord en sphère, puis, s'accroissant beaucoup dans le sens horizontal, prend la forme d'une coupe dont la cavité est occupée par la chalaze; au fur et à mesure qu'il dissout l'albumen, il en occupe la place, et finalement en prend la forme. La portion extérieure, ou pied du cotylédon, s'allonge beaucoup; elle atteint jusqu'à 4 centimètres de longueur; sa moitié supérieure est toujours cylindrique et pleine; sa moitié inférieure, un peu aplatie, est creusée d'une cavité longitudinale où passe l'axe de la jeune plante.

Les figures données par M. Sachs, dans le mémoire cité plus haut, pour la germination du Dattier, peuvent servir pour celle du Latanier.

TISSUS. — *Épiderme*. — Dès que la partie saillante du cotylédon a atteint 3 centimètres de longueur, elle se dégarnit d'épiderme vers sa base. Au fur et à mesure que la germination avance, la chute de l'épiderme gagne la partie supérieure du pied. Le rôle protecteur de l'épiderme est rempli alors par les assises externes des cellules parenchymateuses, qui se subérifient dans ce but. La tête du cotylédon conserve toujours son épiderme; les cellules y présentent le même caractère qu'à l'état de repos; étendues radialement et recouvertes d'une très mince cuticule, elles ne s'accroissent que peu, en sorte que pour suivre l'agrandissement considérable de l'organe, elles se divisent abondamment.

L'extension de la cavité contenant le bourgeon caulinaire amène le développement d'un épiderme qui a été négligé, à cause de son peu d'importance, dans l'étude du cotylédon à l'état de maturité. Cet épiderme intérieur est formé de cellules isodiamétriques à faces polygonales, recouvertes d'une mince couche de cutine.

Parenchyme. — Dans la tête du cotylédon, les cellules s'étendent considérablement, surtout dans le sens radial; elles atteignent dans cette direction jusqu'à huit fois leur dimension à l'état de vie latente; de plus, elles deviennent rameuses, ne se touchent plus que par l'extrémité des rameaux qu'elles ont

émis. C'est uniquement par agrandissement et disjonction des cellules que le volume de cette partie a augmenté ; la division cellulaire n'y prend aucune part. L'accroissement de la tête cotylédonaire n'est donc pas produit ici, comme M. Sachs l'a constaté chez le Dattier, par la multiplication des cellules placées sous l'épiderme. Le tissu, rempli de lacunes à air, devient mou et spongieux ; il a la couleur blanc laiteux des tissus aérifères. Les parois cellulaires conservent leur grande minceur et leur composition chimique.

Dans la partie du cotylédon qui se développe hors de la graine, les cellules se divisent d'abord pour produire l'allongement de ce membre, mais bientôt elles ne font plus que s'étendre dans le sens longitudinal, et elles atteignent, dans cette direction, cinq fois leur dimension dans l'embryon au repos ; elles prennent la forme d'éléments très allongés, laissant entre eux de petits méats aérifères ; leurs parois demeurent en général minces. Cependant à la partie supérieure du pied, près de son entrée dans l'albumen, elles s'épaississent beaucoup en restant celluloses ; dans l'étranglement qui le relie à la tête, on trouve à l'intersection des parois, à la place des méats des autres cellules, de petites masses de substance mucilagineuse qui s'étendent quelquefois dans la paroi, au lieu et place de la lamelle intercellulaire.

On a déjà vu que l'épiderme finit par tomber en totalité, sur cette portion du cotylédon ; pour remplacer ce tissu, les cellules subissent quelques divisions par des cloisons tangentielles, et les nouvelles cellules se subérifient. Il y a donc là formation d'un véritable liège.

Nervation. — Il ne se forme pas de nouveaux faisceaux pendant la période germinative ; mais ceux qui existaient dès l'état latent modifient assez notablement leur course, par suite de l'augmentation de volume de la tête cotylédonaire, de l'élongation du pied, et de la sortie de l'axe de la jeune plante à travers la gaine cotylédonaire.

Dans la tête développée du cotylédon, on retrouve les nervures ramifiées de la partie supérieure de l'embryon à l'état

de repos (pl. 2, fig. 28) ; elles ne font que se courber vers l'extérieur pour vasculariser les parties latérales de la cupule. Les faisceaux externes contournent la surface externe de cette cupule, et viennent se rejoindre sur sa face supérieure, en formant un réseau à mailles toutes fermées et rayonnantes (pl. 2, fig. 29). Dans le pied, les nervures sont parallèles et peu ramifiées ; elles proviennent, en effet, de la partie inférieure des nervures du cotylédon, et l'on se rappelle que là elles n'ont encore émis que peu de rameaux. Les faisceaux s'écartent latéralement pour laisser passer la jeune pousse ; en sorte qu'à la partie inférieure de la gaine, ils sont disposés en cercle ; puis un peu plus haut en ellipse ; enfin, l'axe de la tige commençant à s'écarter de l'axe de l'embryon, ils se distribuent en fer à cheval, et plus tard se raigent de nouveau en cercle (pl. 2, fig. 24 à 27).

Les nervures, d'abord à l'état procambial, s'épaississent bientôt par le jeu d'une couche génératrice tangentielle qui produit des deux côtés des éléments procambiaux ; on la retrouve encore alors que la nervure a déjà commencé à se différencier (pl. 3, fig. 43). C'est seulement lorsqu'il a pris, par le mécanisme précédent, un certain développement, que le faisceau forme du bois sur sa face interne et du liber sur sa face externe. L'îlot de bois demeure toujours très restreint ; dans le liber, il se forme un paquet de fibres très développé, principalement vers l'extérieur, et qui entoure les vaisseaux à la manière d'un fer à cheval (pl. 5, fig. 62). Il reste une certaine quantité de liber qui ne s'épaissit pas. La nervure n'acquiert cette solidité qu'au milieu de la longueur du cotylédon ; en se rapprochant des extrémités, le faisceau fibreux du liber diminue progressivement d'importance, et a complètement disparu à l'extrémité des nervures de la tête.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique ne se modifie pas pendant la germination ; il consiste toujours en une couche pariétale de protoplasma, dans laquelle est plongé le noyau.

La région inférieure du cotylédon, extérieure à l'albumen, ne contient jamais de réserves figurées ; il n'y a donc à s'occuper que de la tête cotylédonnaire.

Dès les premiers jours de la germination, les grains d'aleurone se résorbent ; ils se corrodent irrégulièrement, se creusent d'anfractuosités, puis tombent en poussière ; ils finissent bientôt par disparaître complètement. A ce moment, apparaissent les premiers grains d'amidon, sous forme de granules très petits, rassemblés en plus ou moins grand nombre, et appliqués à la face interne de l'utricule protoplasmique. L'apparition des premiers grains d'amidon coïncide avec la différenciation, dans les cordons procambiaux, de la première trachée. Ces grains d'amidon s'accroissent ensuite, et atteignent leur maximum d'abondance et de grosseur au moment où la gemmule sort de la gaine cotylédonnaire ; à partir de ce moment, ils se résorbent peu à peu par dissolution égale, et, lorsque l'albumen est complètement détruit, on n'en trouve plus que quelques-uns épars dans les cellules ; ils ne disparaissent jamais complètement.

Des raphides d'oxalate de chaux se forment, au début de la germination, dans le pied du cotylédon, dans la partie du parenchyme située en dehors du cercle des faisceaux ; plus tard ces formations se produisent aussi dans la tête. Elles ne sont pas résorbées.

Albumen.

La forme ni les dimensions de l'albumen ne se modifient pendant la germination ; on sait, en effet, qu'il est résorbé par l'intérieur, au fur et à mesure que la tête cotylédonnaire se développe.

Les cellules de l'albumen non en contact direct avec le cotylédon ne sont altérées en aucune de leurs parties. Dans celles qui confinent à ce tissu, le protoplasma et les grains d'aleurone ont disparu ; quant aux membranes, elles ne sont dissoutes qu'au contact immédiat de l'épiderme cotylédonnaire ; dans le reste de leur étendue, elles conservent leur

épaisseur et leur nature chimique initiales. Pendant la germination, l'albumen se montre donc passif.

ASPARAGUS MARITIMUS Pall.

Je n'ai étudié cette graine qu'au point de vue du développement des membranes de l'albumen.

A l'état de maturité, cet albumen présente comme structure les mêmes caractères que ceux des Palmiers. Les membranes, épaisses, portent des ponctuations simples, circulaires, fermées par un mince diaphragme. Mais tandis que l'iode ne colore pas la cellulose de l'albumen des Palmiers, il colore au contraire; en solution concentrée, celle de l'*Asparagus maritimus* en brun violacé intense.

Les cellules contiennent des grains d'aleurone sphériques, sans enclaves, et un peu d'huile.

J'ai commencé l'examen de l'albumen au moment où toutes ses cellules sont formées. Les membranes sont alors de la plus grande minceur et cellulosiques. Leur épaissement a lieu par apposition progressive de substance cellulosique sur les deux faces de la membrane primitive. On ne rencontre d'amidon dans les cellules à aucun moment du développement.

ZEA MAYS L.

La germination du Maïs a été étudiée par M. Sachs (1) et par A. Gris (2). M. Van Tieghem (3), en vue de déterminer la valeur morphologique du scutelle des Graminées, a recherché le mode de nervation de cet organe. Il a reconnu que chez le Maïs, un faisceau libéro-ligneux se détache latéralement de la tigelle et se trifurque. La branche médiane continue son chemin, se rend dans l'écusson, qu'elle traverse dans sa plus

(1) J. Sachs, *Zur Keimungsgeschichte der Gräser* (loc. cit.).

(2) A. Gris, *De l'organisation du scutelle dans le Maïs* (loc. cit.). — *Recherches anatomiques et physiologiques sur la germination* (loc. cit.).

(3) Ph. Van Tieghem *Observations anatomiques sur le cotylédon des Graminées* (loc. cit.).

° série, Bot. T. XIX (Cahier n° 1)⁴.

grande longueur et en émettant deux petites branches latérales qui se rendent aux oreillettes. Les deux rameaux externes sont destinés à la piléole.

La forme externe de la graine du Maïs est bien connue ; des mémoires précédents et de mes propres observations résulte la description suivante de la structure interne de cette graine, à l'état de vie latente et pendant la germination.

LA GRAINE MURE.

Cotylédon.

Le scutelle étant considéré comme le représentant morphologique du cotylédon, c'est de cette partie seule que je m'occuperai.

Tissus. — Sur sa face interne, celle qui est en contact avec l'albumen, l'écusson du Maïs est recouvert d'un épiderme cylindrique dont les éléments sont dirigés perpendiculairement à la surface. Leur longueur est trois fois plus considérable que leur largeur ; sur une coupe tangentielle leur cavité présente, par suite d'un épaississement considérable des parois à leur intersection, une figure circulaire ou elliptique.

L'épiderme externe, au contraire, se compose de cellules tabulaires aplaties, à contour assez régulièrement polygonal. Il n'y a de stomates sur aucune des faces de l'organe.

Le parenchyme est constitué par des cellules polyédriques irrégulières, à parois épaisses, munies de ponctuations simples très rapprochées. A l'intersection des cellules existent de petits méats.

Les nervures, sur la course desquelles je ne reviendrai pas, sont à l'état procambial.

Les membranes de ces différents tissus présentent la réaction de la cellulose. Une couche de cutine, très mince sur la face interne, plus épaisse sur la face externe, recouvre l'épiderme.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cellules du parenchyme contiennent une grande quantité d'aleurone en grains petits,

sphériques, sans enclaves. Dans chaque cellule on remarque en outre quelques grains d'amidon un peu plus volumineux que ceux d'aleurone.

Dans les épidermes et les nervures, on trouve des grains d'aleurone comme partout ailleurs, mais beaucoup plus petits.

Albumen.

Tissus. — La face externe de l'albumen est limitée par une assise de cellules cylindriques dont la hauteur dépasse peu la largeur. Leurs membranes, surtout l'externe, sont très épaisses. Cette couche, dont la structure diffère de celle des cellules sous-jacentes, forme un épiderme protecteur à l'albumen; elle a déjà été constatée par M. Trécul chez le Froment (1). Je me suis assuré, par l'examen d'une série d'états jeunes, que cette assise provient du rang externe du jeune albumen, dont les éléments ont suivi un développement différent de ceux du centre de l'organe.

Le parenchyme comprend des cellules à parois minces, sans méats. Dans la partie externe, de couleur jaune et de consistance cornée, les parois sont planes et les cellules exactement polyédriques; dans la partie interne, blanche et friable, les cellules deviennent irrégulières.

Toutes les membranes sont de nature cellulosique; une cuticule assez forte tapisse extérieurement l'épiderme.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cellules du parenchyme sont remplies de grains d'amidon dont la forme bien connue ne nous arrêtera pas. C'est la seule réserve figurée de l'albumen.

L'épiderme ne renferme qu'un protoplasma granuleux, et par là contraste encore davantage avec le parenchyme.

(1) Trécul, *Composition du son et structure du Froment* (*Comptes rendus*, 1857, t. XLIV, p. 450), avec une planche.

GERMINATION.

TISSUS. — Les tissus ne se modifient pas pendant la germination; quelques trachées se forment seulement dans les nervures.

CONTENU CELLULAIRE. — L'amidon contenu dans l'albumen se dissout de la face interne à la face externe de l'organe. A la fin de la germination, il en reste toujours en assez grande quantité. La résorption des grains d'amidon a lieu par dissolution locale. M. Sachs a donné de ces grains corrodés des figures d'une parfaite exactitude.

Le scutelle se comporte pendant la germination comme les autres cotylédons aleurifères. Les grains d'aleurone y disparaissent d'abord, puis naissent des grains d'amidon secondaire, qui sont à leur tour dissous. Mais tandis qu'habituellement l'altération des grains d'amidon a lieu simultanément dans toute l'épaisseur du cotylédon, ici elle progresse de la partie de l'écusson en contact avec l'axe de l'embryon, vers la partie externe. Le scutelle est donc divisé, quant au contenu de ses cellules, en deux zones nettement séparées; l'interne ne contient plus trace de grains d'amidon, et dans l'externe ils ne sont pas altérés.

Sachs et Gris ne sont pas d'accord au sujet du rôle de l'albumen du Maïs pendant la germination. Le premier de ces auteurs soutient que l'amidon de l'albumen, traversant sous forme de dissolution l'épiderme cotylédonaire, se précipite en grains d'amidon dans le parenchyme du scutelle. Gris, au contraire, prétend que l'amidon né pendant la germination dans le cotylédon provient des réserves de cet organe, de l'huile par exemple, et que l'amidon de l'albumen ne fait que traverser l'écusson comme un filtre pour se rendre dans l'axe de la jeune plante, où seulement il se précipite.

Gris donne comme raison à son assertion que les grains d'amidon de seconde formation sont simples dans le Maïs, tandis qu'habituellement, dans les mêmes conditions, ils sont

composés. Cette observation n'a évidemment aucune valeur pour réfuter la provenance étrangère de l'amidon du scutelle.

En outre, j'ai fait germer, à plusieurs reprises, des embryons de Mais privés de leur albumen. Toujours ils se sont rapidement développés, ont donné plusieurs feuilles bien conformées et ont épuisé leur cotylédon. Or, à aucun moment de la germination, je n'ai trouvé, dans ces conditions, de grains d'amidon de nouvelle formation dans le scutelle. L'absence d'albumen entraînant la non-formation d'amidon secondaire dans le cotylédon, il faut admettre, avec M. Sachs, que cette substance provient de l'albumen.

COULTERIA TINCTORIA H. et B.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — La graine de *Coulteria tinctoria* est elliptique, un peu aplatie parallèlement à la commissure cotylédonaire; sa longueur varie de 8 à 10 millimètres, sa largeur de 6 à 7, et son épaisseur de 4 à 5. Elle renferme une amande de même forme, composée d'un albumen et de l'embryon.

L'albumen enveloppe l'embryon de toute part, en présentant sur les faces de ce dernier une épaisseur maximum de 1 millimètre; il est dur, cassant, un peu transparent, en un mot d'apparence cornée; il se gonfle légèrement dans l'eau et devient glutineux.

L'embryon est droit et coloré en jaune; il se compose d'un petit axe que nous négligeons, et de deux cotylédons égaux qui en forment la masse la plus importante. Le cotylédon présente la forme d'une ellipse un peu tronquée à ses extrémités; sa longueur est de 7 millimètres, sa largeur de 5 et son épaisseur de 1 millimètre $\frac{1}{4}$; il est plan-convexe, et porte sur ses deux faces un réseau en creux dont les veines correspondent aux cordons de sa nervure.

Nous étudierons successivement le cotylédon et l'albumen.

Cotylédon.

Tissus. — Épiderme. — Un épiderme à un seul rang de cellules recouvre toute la surface du cotylédon. Les éléments qui le constituent sont des tables polygonales variant quelque peu d'une face à l'autre de la feuille embryonnaire. A la face supérieure, les cellules, plus grandes, ont la membrane externe moins épaisse qu'à la face inférieure; l'épiderme supérieur diffère encore de l'épiderme inférieur parce qu'il possède exclusivement des ébauches de stomates. De distance en distance on voit, sur cette couche de revêtement, des assemblages de deux cellules différant par leur forme des autres cellules, et dont l'ensemble représente un triangle à côtés courbes, convexes vers l'extérieur; une membrane cellulaire sépare la pointe de ce triangle de sa base (pl. 1, fig. 14, *f*). C'est la réunion de ces deux cellules, l'une triangulaire, l'autre obscurément trapézoïdale, qui constitue l'ébauche du stomate.

Les cellules épidermiques, de nature cellulosique, portent une mince cuticule sur leur membrane externe.

Parenchyme. — Un ou deux rangs de cellules en palissade à la face supérieure du cotylédon, et une vingtaine d'assises de cellules globuleuses à la face inférieure, constituent le tissu fondamental du cotylédon étudié. Tous ces éléments possèdent des membranes très minces, cellulosiques, marquées de réseaux de ponctuations très peu profondes; ils laissent entre eux de petits méats. Les cellules du parenchyme inférieur voisines des cellules en palissade s'allongent quelque peu, en sorte qu'il est difficile de fixer exactement le nombre de ces dernières.

Nervation. — Le cotylédon reçoit de l'axe cinq cordons séparés, un médian et quatre latéraux, symétriques deux à deux, par rapport au premier. La nervation est donc palmée. Chacun de ces cordons s'anastomose en arc avec ses voisins et se ramifie un grand nombre de fois. Les ramifications s'anastomosent elles-mêmes entre elles; il en résulte un réseau

compliqué analogue à celui d'une feuille végétative. La terminaison des nervures a lieu à la fois dans les mailles et à la périphérie.

La nervure se compose uniquement d'éléments allongés de tissu procambial.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique.* — Le protoplasma revêt la forme d'un enduit très mince appliqué contre la membrane cellulaire; il est marqué d'impressions circulaires en creux, lieux de contact des grains d'aleurone. Entre les dépressions, le protoplasma, plus épais, forme un réseau à mailles irrégulières. Je n'ai pas vu nettement de noyau cellulaire; cela n'a rien d'étonnant, car lorsque des réserves à l'état solide remplissent, comme ici, étroitement la cellule, ce corps est déformé, comme atrophié, et il devient difficile de le distinguer au milieu des enclaves cellulaires.

Dérivés du protoplasma. — Le cotylédon ne renferme dans ses cellules que de l'aleurone. Cette substance se présente en grains jaunes assez volumineux ($0^{\text{mm}},008$), qui paraissent occuper toute la cavité cellulaire. Les cellules étant très étroites, trois ou quatre grains peuvent en tenir toute la largeur, et, à cause de cette circonstance, il ne m'a pas été possible de décider si les grains d'aleurone sont seulement adhérents à l'utricule primordiale, ou si, en outre, il en existe d'épars dans la cavité cellulaire.

La plupart des grains d'aleurone, mais pas tous, contiennent de très petits globoïdes. Il n'est pas possible de les apercevoir dans le grain normal; mais en traitant des coupes minces par le chloroforme, pour les priver d'huile, puis par la potasse étendue, afin de dissoudre l'aleurone, on voit dans les cellules de nombreuses petites sphères incolores, réfringentes, se dissolvant sans effervescence dans l'acide acétique; ces réactions caractérisent les globoïdes.

Dans l'épiderme et les cellules des nervures, on trouve la même substance de réserve, mais en grains beaucoup plus petits et sans enclaves.

Albumen.

Tissus. — L'albumen se présente, suivant qu'il a été coupé sec et examiné dans l'alcool absolu, ou après avoir été mouillé et observé dans l'eau, sous deux aspects différents qu'il importe de connaître.

Les coupes obtenues à sec offrent l'aspect de lames amorphes, incolores, transparentes, marquées de nombreuses stries parallèles et d'éraillures produites par le rasoir dans cette substance difficile à sectionner. Cette masse est creusée, de distance en distance, de petits trous qui représentent les cavités des cellules. L'écartement entre deux cavités cellulaires équivaut environ à cinq fois la largeur d'une de ces cavités; elles paraissent donc comme disséminées dans la masse cornée. La cavité des cellules est entourée par une coque peu épaisse qui paraît être de même nature que le reste de la paroi, mais plus dense et plus réfringente. On n'aperçoit aucun indice de séparation entre les cellules.

Si l'on fait arriver de l'eau sur les coupes, elles se gonflent et acquièrent une superficie double environ. Il est inutile de dire que toutes les parties que l'on vient de décrire et que l'on va retrouver, ont pris, par suite, des dimensions doubles. Certains détails apparaissent maintenant que l'on n'avait pu voir précédemment. C'est ainsi que l'on aperçoit les limites des cellules, sous forme de traits minces. Ces cellules sont polyédriques, à côtés assez exactement rectilignes. Enfin, autour de la coque signalée ci-dessus, qui se retrouve ici avec les mêmes caractères, la substance de la paroi cesse d'être homogène; il s'y produit des strates parallèles, concentriques à la cavité cellulaire. Elles forment autour de la cavité un anneau qui se relie, par une trainée également stratifiée, aux anneaux des cellules voisines; en sorte que la partie stratifiée de cette membrane se comporte, quant à sa disposition, comme les pénétrations des cellules à parois épaisses.

Ce tissu offre les réactions suivantes. Traitées par le réactif

de Lemaire (1) et par le violet d'aniline, les coupes ne se colorent pas. Avec l'iode en solution aqueuse, elles jaunissent. Avec l'iode et l'acide sulfurique, elles brunissent. Enfin, au moyen d'une solution aqueuse d'hématoxyline alunée, on colore en bleu la coque et la partie stratifiée, le reste n'étant pas influencé. On peut conclure de là que la substance amorphe qui constitue la plus grande partie de la membrane n'est pas exactement de même nature chimique que la coque et les parties stratifiées, et que ni l'un ni l'autre de ces corps ne peuvent être sûrement rangés dans les substances que nous connaissons comme entrant dans la composition des parois cellulaires. Ce n'est en effet, ni de la cellulose, ni du mucilage; elle doit être intermédiaire entre les deux.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cavités cellulaires, si petites, renferment seulement une couche pariétale mince de protoplasma et quelques granulations de même nature.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — J'ai suivi le développement de ce cotylédon depuis un état assez jeune, où il n'avait qu'un millimètre et demi de longueur environ, et une largeur un peu moindre; l'épaisseur était d'un quart de millimètre. La jeune feuille embryonnaire présentait encore quelque chose de la forme d'un mamelon, sous laquelle elle est née; ses bords étaient arrondis et non tranchants, comme ils le seront plus tard; elle était colorée en vert intense, et offrait une certaine transparence. Peu à peu les oreillettes se forment; le cotylédon s'accroît en longueur et en largeur, deux dimensions qui atteignent bientôt, bien avant la maturité, leur grandeur maximum. L'épaisseur, par contre, reste longtemps à peu près

(1) Dissolution d'hématoxyline dans l'alcool absolu, à laquelle on ajoute un peu de protochlorure d'étain. Ce réactif colore les mucilages.

stationnaire, et ce n'est que vers la fin du développement qu'elle prend tout à coup son état définitif. Le cotylédon cesse bientôt d'être transparent; il demeure assez longtemps vert; un peu avant sa maturité, il se colore en jaune.

Tissus. — Epiderme. — L'épiderme, toujours simple, composé de cellules tabulaires à contours polygonaux, ne cesse de multiplier ses éléments qu'à un âge assez avancé du développement, au moment où l'amidon primaire est en voie de régression et où l'aleurone se montre déjà en abondance. Par contre, les cellules ne s'agrandissent pas; il est même remarquable qu'elles conservent sensiblement, pendant toute cette période du développement, les mêmes dimensions.

D'abord identiques sur toute l'étendue du cotylédon, elles ne tardent pas à se différencier d'une face à l'autre. Celles de l'épiderme supérieur, plus grandes, ont les parois, surtout l'externe, beaucoup moins épaisses. Enfin les deux épidermes diffèrent encore en ce que, dans le supérieur, il se forme des ébauches de stomates. Pour cela, une cellule, d'ailleurs semblable aux autres, découpe à un de ses angles, par une cloison diagonale, une cellule triangulaire qui deviendra la cellule mère du stomate (pl. 1, fig. 13 et 14). Puis les choses en restent là jusqu'à la maturité, et ce n'est que pendant la germination que le stomate s'achève.

A toutes les époques, les membranes sont formées de cellulose. Une mince cuticule recouvre la membrane externe.

Parenchyme. — On doit considérer la forme des cellules, leur dimension, et enfin leur prolifération.

Au début, les cellules, de forme aplatie, sont disposées en assises régulières parallèles aux faces du cotylédon; elles ne laissent pas de méats entre elles; elles ne se distinguent donc que peu des éléments de l'épiderme. Un peu plus tard elles se transforment en polyèdres isodiamétriques, s'agrandissent et deviennent inégales. Par là, ainsi que par la naissance de nouvelles cellules, l'arrangement en assises horizontales se détruit, et le parenchyme devient irrégulier. Puis les deux

range supérieur du parenchyme tenant à l'allongement perpendiculairement aux faces du cotylédon, constituent deux rangs de cellules en palissade. Le parenchyme, arrivé de bonne heure à son complet perfectionnement, ne subira plus de différenciation quant à la forme et à la disposition de ses cellules, jusqu'à la maturité de la graine.

En même temps que les transformations précédentes s'opèrent, le parenchyme est encore le siège de deux autres modifications : les cellules s'agrandissent et en même temps se multiplient.

La multiplication des éléments du parenchyme dure depuis le premier état observé jusqu'à une époque rapprochée de la maturité, jusqu'au moment où apparaissent les premiers racines, et où par conséquent le cotylédon commence à se dessécher. La division des cellules a lieu beaucoup plus fréquemment dans le sens de la surface de l'organe que dans le sens de l'épaisseur. Entre les deux épidermes, le nombre des cellules se superposant en ligne droite a été porté approximativement de quinze à vingt, tandis que dans la direction opposée on constate, à la maturité, environ trois cent cinquante cellules d'un bord à l'autre de l'organe, contre cent vingt comptées au stade de début.

Les cellules du parenchyme s'accroissent pendant le temps presque entier du développement. D'abord assez faible et se produisant avec une égale intensité sur toute la surface de la membrane, cet accroissement devient, lorsque les cellules cessent de se diviser, tout à coup considérable, et se fait surtout remarquer perpendiculairement aux faces de la face séminale. C'est cette elongation subite qui, vers la fin de la période de formation du cotylédon, produit le notable gonflement signalé plus haut.

Du début à la fin de la germination, les cellules du parenchyme intérieures ont doublé leur diamètre perpendiculairement à l'axe de l'organe, et quadruplé le diamètre opposé.

Ainsi trois ordres de modifications ont lieu, au moins pendant quelque temps, simultanément dans le cotylédon séminal :

courent à donner à son parenchyme sa structure. Ce sont, en les rangeant par ordre de durée : la différenciation des cellules, leur multiplication, leur agrandissement. Commenant avec la naissance du cotylédon, ces modifications s'arrêtent à des instants différents qui viennent d'être précisés.

Nervation. — Déjà ébauchée à la première période étudiée, la nervation se complète jusqu'à l'époque où naissent les grains d'aleurone. Le centre du développement, au moins pour les nervures primaires, paraît coïncider avec le centre de figure de l'insertion du cotylédon sur son court pétiole. De ce point, où naît la première nervure, la formation des cordons procambiaux s'étend latéralement vers les bords du cotylédon, en même temps que ceux déjà formés se ramifient et s'allongent vers le sommet de l'organe.

Les nervures consistent toujours en tissu procambial. La nervure médiane s'épaissit par une zone génératrice en fer à cheval, à convexité inférieure.

CONTENU CELLULAIRE. — Les cellules présentent d'abord la composition des cellules végétatives ordinaires : elles possèdent une couche pariétale de protoplasma, avec un noyau souvent aussi pariétal, mais quelquefois encore suspendu, par de fines brides, au centre de la cavité. Peu de temps après, alors que tous les tissus, épiderme, parenchyme, cordons de procambium, prolifèrent avec la plus grande activité, de fins granules d'amidon naissent, agglomérés au nombre de trois à huit, à l'intérieur d'un leucite ; chacun de ces amas formera un grain composé. Les grains partiels s'accroissent sans empêcher le travail de division des cellules. Puis, le cotylédon étant près d'avoir atteint sa structure adulte, les grains d'aleurone apparaissent entre les grains d'amidon, contre la couche protoplasmique pariétale ; ils se forment tout d'une pièce, avec leur largeur définitive, et n'ont plus qu'à s'épaissir pour arriver à l'état adulte. Les tissus du cotylédon acquièrent bientôt leur dernier perfectionnement, et toute l'activité de la cellule paraît se concentrer sur l'évolution des substances de réserve. L'ami-

don disparaît graduellement, pendant qu'inversement les grains d'aleurone, s'accroissant continuellement, parviennent à remplir la cavité cellulaire.

La description précédente s'applique au parenchyme fondamental du cotylédon; elle ne peut convenir à l'épiderme et au tissu procambial qu'avec les quelques restrictions suivantes. Dans l'épiderme, l'amidon se montre en moindre quantité que dans le parenchyme, et dans les nervures on n'en trouve à aucun moment; enfin, dans ces deux tissus, les grains d'aleurone restent petits.

La coloration verte que revêt le cotylédon, pendant la plus grande partie de son développement embryonnaire, est due au dépôt de chlorophylle sur le protoplasma cellulaire; il n'y a pas encore de grains de chlorophylle.

Albumen.

FORME EXTÉRIEURE. — L'albumen enveloppe continuellement l'embryon, comme à l'état de maturité. Son épaisseur maximum était d'abord d'un tiers de millimètre; elle a triplé pendant le développement.

TISSUS. — Cet organe se montre toujours composé de cellules polyédriques semblables entre elles; cependant il est recouvert vers l'extérieur par une assise de cellules plus petites qui lui forment une sorte d'épiderme. Le nombre des cellules n'augmente pas pendant le développement embryonnaire; il est de dix à douze à l'endroit de la plus grande épaisseur de l'albumen. Les parois, formées de cellulose, sont d'abord extrêmement minces; à partir du moment où l'amidon arrive abondamment dans le cotylédon, les membranes commencent à s'épaissir; on voit encore la mince paroi cellulosique primitive, mais sur ses faces se dépose une substance hyaline, homogène, présentant les réactions déjà indiquées à l'état de maturité. Le dépôt augmente continuellement d'épaisseur, en conservant ses caractères physiques et chimiques, jusqu'à donner à la cellule la forme qui a été décrite à propos de la graine

mûre. L'épaississement de la membrane est donc dû à un dépôt par juxtaposition, opéré contre la membrane primitive.

CONTENU CELLULAIRE. — La cellule de l'albumen ne contient jamais de matériaux de réserve : on n'y trouve que le corps protoplasmique. Il consiste, au début, en une couche pariétale mince de protoplasma et en un noyau suspendu dans la cavité par des brides rayonnantes. Au fur et à mesure que la cavité cellulaire se rapetisse, le noyau devient plus considérable relativement à la cavité ; puis, finalement, on ne le retrouve plus ; on arrive à l'état de maturité.

GERMINATION.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — Le cotylédon s'agrandit notablement ; il atteint, à la fin de la germination, 15 millimètres de longueur, 12 de largeur et $2\frac{1}{2}$ d'épaisseur. Comme on peut le voir, ses dimensions linéaires, comparées à celles de la graine au repos, sont au moins doublées. Cet accroissement est cependant loin d'atteindre celui de quelques autres cotylédons, tels que ceux du Ricin, du Café, du Lierre, etc. Au point de vue externe, ce cotylédon tient donc le milieu entre ceux qui ne font que se gonfler (Chêne, Marronnier, Néflier du Japon, etc.) et ceux qui s'étalent en larges feuilles.

Après que le cotylédon a résorbé son albumen et que les enveloppes de la graine sont tombées, il est exposé à la lumière et verdit. Cette coloration, qui acquiert beaucoup d'intensité, se conserve jusqu'à la fin de la germination. On verra, dans l'étude histologique de ce cotylédon, à quel état de sa structure interne correspond le verdissement.

Tissus. — *Épiderme.* — Sous le rapport des changements qu'ils subissent pendant la germination, les deux épidermes doivent être décrits séparément.

Dans l'épiderme supérieur, les cellules, en conservant la forme qu'elles avaient à l'état de vie latente de la graine, se sont considérablement agrandies; elles ont doublé leurs dimensions latérales, mais ne se sont pas multipliées. Les stomates, dont les ébauches existent depuis longtemps, s'achèvent pendant la germination, au moment où toutes les substances de réserve de la graine sont épuisées et où apparaissent les grains de chlorophylle. La cellule triangulaire qui s'est découpée autrefois dans la cellule épidermique, et qui est la cellule mère du stomate, s'agrandit notablement et se divise en deux autres cellules. La cloison nouvelle ne paraît pas affecter de disposition spéciale par rapport à celle qui a détaché la cellule mère. Les deux nouvelles cellules filles s'agrandissent, deviennent semi-circulaires, et arrivent à constituer, à la suite des modifications habituelles, les deux cellules de bordure (pl. 4, fig. 15, *a*, *b*).

L'épiderme inférieur ne contient encore, sur la graine mûre, aucune trace de formation de stomates. La membrane externe de ses cellules s'amincit d'abord et devient même plus faible que celle de l'épiderme supérieur. La feuille embryonnaire, en effet, débarrassée de ses enveloppes, s'étale bientôt dans l'air et se trouve dans les mêmes conditions, quant au milieu atmosphérique, que les feuilles ordinaires. Les membranes redevenues minces, les cellules peuvent se diviser; elles ne s'agrandissent que peu pendant la germination, ce qui exige forcément qu'elles se multiplient souvent.

Il se forme aussi des stomates dans l'épiderme inférieur, exactement par le procédé décrit ci-dessus. Les deux stades connus de cette formation, séparation de la cellule mère, puis division en deux de cette cellule, ont lieu ici pendant la germination; ils sont cependant séparés par un certain espace de temps. Les premières divisions se produisent tout au début de la germination, lors de l'apparition de l'amidon secondaire, et les dernières, d'où naissent les cellules de bordure, beaucoup plus tard, lorsque les grains de chlorophylle ont atteint leur complet développement.

Cette graine offre donc le curieux exemple de deux épidermes qui évoluent à peu près de la même façon, mais subissent les transformations qui les conduisent à l'état adulte en des temps différents.

Les membranes se composent toujours de cellulose, une mince cuticule recouvre la membrane externe.

Parenchyme. — Les cellules de ce tissu ne se multiplient pas pendant la germination, leur accroissement produit seul l'extension du cotylédon.

Outre l'agrandissement des cellules, il faut signaler encore quelques autres modifications dans ce parenchyme. On se rappelle qu'à l'état de la vie latente les cellules en palissade, à peine indiquées, ne se distinguaient pas encore nettement de celles du parenchyme sous-jacent. Pendant le développement germinatif, ces éléments s'allongent considérablement, et quelques rangs supérieurs du parenchyme, dont la destination était alors indéfinie, s'allongent aussi; il se forme ainsi une couche palissadiforme de trois assises cellulaires.

La partie inférieure du parenchyme, où les éléments ont conservé la forme globuleuse, a vu, en même temps que les éléments, s'agrandir aussi les méats; ils ne passent cependant jamais à l'état de lacunes.

L'épaisseur des membranes, quoique peu considérable avant la germination, a encore diminué pendant cette période. Elles se composent toujours de cellulose.

Nervation. — La course des nervures n'a pas varié; leur structure seule s'est modifiée.

Le tissu procambial a d'abord proliféré, et ses éléments se sont agrandis, ce qui donne à la nervure une beaucoup plus grande épaisseur. La nervure médiane, que nous prenons surtout pour exemple, a un diamètre environ six fois plus grand qu'à l'état de repos de la graine; elle s'est en outre différenciée de la façon suivante. A sa partie supérieure, au milieu des cellules procambiales très agrandies, il se forme de dix à quinze vaisseaux ligneux à spires déroulables, entièrement isolés les uns des autres ou réunis par petits groupes, échelon-

nés sur un arc de cercle à convexité inférieure. L'apparition des trachées coïncide avec la naissance des premiers grains d'amidon secondaire. Sur la face opposée de la nervure, on remarque une zone continue de cellules à parois épaisses, d'apparence nacrée. Cette zone, qui compte quatre ou cinq cellules d'épaisseur, constitue du tissu libérien épaissi; entre elle et les vaisseaux ligneux se trouve un assez grand espace rempli par de petites cellules de liber mou. Enfin, à la partie externe ou inférieure des vaisseaux, et immédiatement contre eux, il s'est formé quelques séries radiales de cellules cambiales, ne constituant pas une couche continue.

CONTENU CELLULAIRE. — Corps protoplasmique. — Ce corps revêt la forme d'une couche pariétale mince, contenant le noyau dans son épaisseur.

Dérivés du protoplasma. — Au point de vue des corps issus de l'activité du protoplasma se succédant dans le cotylédon pendant la germination, la graine qui nous occupe présente le maximum de complication que l'on puisse rencontrer. Trois sortes de formations figurées, les grains d'aleurone, les grains d'amidon et les grains de chlorophylle, s'y succèdent. On peut, d'après cela, établir cinq phases différentes durant la germination : 1° résorption des grains d'aleurone; 2° naissance de l'amidon secondaire; 3° dissolution de cette substance; 4° formation des grains de chlorophylle; 5° période d'activité de ces grains.

1° La résorption des grains d'aleurone commence peu après la mise en germination, dès que l'eau a pénétré dans la graine et y a produit un léger gonflement : c'est le premier phénomène de la germination que l'on puisse histologiquement observer. Le procédé par lequel ces corps se dissolvent peut être rapproché de celui que plusieurs auteurs ont décrit dans les grains d'amidon, sous le nom de dissolution locale. Des taches sombres apparaissent çà et là dans la masse du grain; à ces taches succèdent bientôt des vides, en sorte que le corps se trouve divisé en fragments anguleux et contournés, enchevê-

très les uns dans les autres. Le processus que l'on vient de voir se continuant sur les fragments, ils se sectionnent eux-mêmes, et le grain d'aleurone tombe en une poussière fine qui est bientôt dissoute.

2° Lorsque l'aleurone, dont les grains sont tombés en une fine poussière, est près de disparaître, l'amidon secondaire se forme. La production d'amidon commence à se manifester à la face inférieure du cotylédon, celle qui, par conséquent, est appliquée contre l'albumen; de là elle gagne progressivement la face supérieure du parenchyme et les cellules en palissade. Toutefois, dans ces dernières, les grains d'amidon se montrent toujours moins volumineux et moins abondants que dans le tissu à méats de la face inférieure. Cette distribution de l'amidon suivant l'épaisseur du cotylédon paraît être la conséquence de la présence de l'albumen, source de substance ternaire, à la face inférieure de l'organe. On verra plus tard qu'elle a elle-même une certaine influence sur la naissance et la répartition des grains de chlorophylle.

Les grains d'amidon naissent à la face interne de l'utricule primordiale, qui les recouvre de tous côtés. Au début de leur existence, ils se présentent sous la forme de petits granules anguleux rapprochés les uns des autres en agglomérations souvent étendues, et adhérents chacun à un leucite; chacune de ces agglomérations donne ensuite un grain composé.

3° Le maximum d'abondance de l'amidon dans le cotylédon correspond à la fin de la résorption de l'albumen. A partir de ce moment, les grains deviennent de plus en plus petits et disparaissent par dissolution égale.

Dans certaines graines, les grains d'amidon en voie de résorption ont présenté un phénomène assez remarquable; ces grains étaient ramollis à un tel point, qu'ils se déformaient au moindre contact avec un corps étranger. En déterminant des courants dans le liquide contenu sous le couvre-objet, ces grains mous étaient entraînés, et, pour franchir les interstices qui seuls leur offraient passage, s'allongeaient en se rétrécissant. Une fois sortis de la coupe et libres dans le liquide de la

préparation, recevant des pressions égales dans tous les sens, ils s'arrondissaient exactement. Enfin, s'ils venaient à se rapprocher en grand nombre dans ce même liquide, par suite de la pression qu'ils exerçaient les uns sur les autres, ils devenaient polyédriques. Le grain d'amidon était donc devenu complètement diffluent.

4^e Lorsque les cellules ne contiennent plus d'amidon, des grains de chlorophylle s'y produisent. Or, il a été dit que l'amidon est toujours moins abondant à la face supérieure qu'à la face inférieure du cotylédon ; d'où il suit qu'il y disparaît plus tôt. Les grains de chlorophylle y naissent aussi plus vite et en plus grande abondance qu'à la face inférieure de la feuille embryonnaire. Ainsi, pendant que les grains de chlorophylle sont non seulement formés dans les cellules en palissade, mais encore contiennent déjà des grains d'amidon issus de leur activité, le parenchyme lacuneux de la face inférieure est encore rempli d'amidon secondaire. On trouve donc à cette époque, dans le cotylédon, des grains d'amidon de deux origines bien différentes : les uns, nés de la réserve de la plante, sont de provenance secondaire ; les autres, issus de la faculté assimilatrice des grains de chlorophylle, constituent de l'amidon tertiaire.

La distribution des grains de chlorophylle étant connue, il faut voir comment naissent ces corps. Lorsque l'amidon de seconde formation est résorbé, la substance propre du plastide dans lequel les grains partiels étaient contenus forme, à la surface libre de la couche protoplasmique, une légère saillie. C'est cette saillie qui, en s'épaississant de nouveau, donnera une lentille plan-convexe, qui est le grain de chlorophylle. Ce corps lenticulaire est plus réfringent que les parties du protoplasma restées minces ; il se continue avec elles par ses bords et par sa partie profonde, sans ligne de démarcation bien nette. Il suit de là que le grain de chlorophylle n'est pas libre dans la cavité cellulaire, mais demeure continuellement adhérent à l'utricule protoplasmique.

Le verdissement du cotylédon précède la formation des

grains de chlorophylle. A son arrivée dans cet organe, la matière colorante se dépose sur les corps figurés contenus dans la cellule : protoplasma et grains d'amidon. Au moment de la première apparition des grains de chlorophylle, l'utricule protoplasmique est donc colorée en vert, et elle conserve cette coloration dans toute son étendue. Mais comme entre les grains de chlorophylle elle n'a qu'une épaisseur insignifiante, sa coloration ne paraît pas, et le grain de chlorophylle seul se détache en vert sur un fond d'apparence incolore.

5° Une fois développés, les grains de chlorophylle de ce cotylédon fonctionnent comme ceux des feuilles végétatives. Il s'y forme des grains d'amidon d'abord très petits, au nombre de trois à huit par grain de chlorophylle, isolés les uns des autres, et chacun complètement enveloppé par la substance du grain de chlorophylle. En grandissant, ils se rapprochent les uns des autres, deviennent polyédriques par gêne réciproque dans leur développement, et remplissent complètement le grain de chlorophylle (1). A cette époque, il ne reste plus de celui-ci que des parcelles excessivement minces interposées aux grains partiels d'amidon.

Cette description des corps issus du protoplasma s'applique uniquement au parenchyme cotylédonaire. Dans les épidermes, il se forme également des grains d'amidon, mais moins nombreux que dans le parenchyme ; je n'y ai pas vu nettement de grains de chlorophylle. Enfin, les cellules de bordure des stomates, depuis leur formation jusqu'à la fin de la germination, contiennent toujours des grains d'amidon.

Albumen.

On peut remarquer deux actions dans la dissolution de l'albumen. L'une, faible, est due au protoplasma granuleux renfermé dans la cellule ; l'autre, de beaucoup la plus importante, est exercée par le cotylédon.

Le rôle du protoplasma des cellules de l'albumen, dans la dissolution de ce tissu, est assez obscur, et je fais toutes ré-

(1) Voyez les figures données pour le Chêne, pl. 6, fig. 77-80.

serve au sujet des observations suivantes. Il m'a semblé que le protoplasma contribue faiblement à la dissolution de la paroi cellulaire. Il respecte la coque qui l'entoure immédiatement, mais produit, au delà, des stries radiales irrégulières qui indiquent une perte de substance.

L'embryon, par la face externe de ses cotylédons en contact avec l'albumen, est l'agent principal de la dissolution de ce dernier. Le protoplasma des cellules proches du cotylédon disparaît d'abord, puis l'épaisse membrane cellulaire; il n'en reste que la paroi primitive mince. Ces parois s'appliquent alors les unes contre les autres et forment une lamelle incolore, feuilletée, qui enveloppe l'embryon. Cette lamelle est dissoute à son tour, et le dernier vestige de l'albumen ayant disparu, le cotylédon gonflé est appliqué immédiatement contre les enveloppes de la graine; celles-ci s'entr'ouvrent vers cette époque, et l'embryon, grandissant de plus en plus, s'en échappe. A ce moment, l'amidon atteint, dans les cotylédons, son maximum d'abondance.

TRIGONELLA FENUM-GRÆCUM L.

Cotylédons.

L'évolution de l'amande du Fenu-grec, aussi bien avant la maturité que pendant la germination, ne diffère que peu de celle du *Coulteria*. Sauf les petites dimensions de la Trigonelle, l'histoire des tissus est absolument la même dans les deux graines; seulement cette dernière graine m'a paru typique pour l'étude d'un mode spécial de formation des grains d'aleurone, et c'est ce qui m'engage à en parler. L'albumen présente aussi quelques caractères particuliers.

Les grains d'aleurone apparaissent dans le cotylédon du Fenu-grec sous forme de petits bâtonnets courbes, disséminés en apparence sans ordre au milieu des grains d'amidon primaire, alors très abondants (pl. 6, fig. 63). A un âge un peu plus avancé de l'embryon, on voit quelques-uns de ces bâtonnets se réunir pour former des anneaux interrompus (pl. 6,

fig. 64). Au fur et à mesure que les grains d'amidon se résorbent et laissent libre une plus grande partie de la surface protoplasmique, le nombre de ces anneaux augmente. Lorsque tout l'amidon a disparu, l'utricule pariétale de protoplasma est entièrement couverte de ces anneaux, tangents les uns aux autres extérieurement (pl. 6, fig. 65). En même temps les petits bâtonnets, s'allongeant, arrivent à se souder, et les anneaux sont maintenant tout d'une pièce. On voit ensuite ces anneaux s'épaissir progressivement vers leur centre, et de cette manière rétrécir leur ouverture. Celle-ci se ferme entièrement et le grain d'aleurone est achevé. La figure 66, planche 6, représente une cellule contenant, à côté de grains d'aleurone dont le développement est complet, quelques autres grains montrant encore à leur centre un petit vide.

La figure 67 de la même planche réunit toutes les phases de cette formation sur les grains supposés détachés de la cellule.

Comme on peut le remarquer par l'examen des figures, les grains d'aleurone ne conservent pas en mûrissant la forme régulière qu'ils avaient à l'état d'anneaux, et sur la fin de leur développement leur ouverture devient excentrique. Cette modification dans la forme du grain est produite parce que le dépôt de matière protéique n'a pas lieu également sur toute l'étendue de l'anneau, qu'il est particulièrement abondant sur un des côtés. Mais la cause intime du phénomène ne paraît pas pouvoir être recherchée.

Il arrive quelquefois qu'un bâtonnet, ne se réunissant pas à d'autres pour constituer un anneau, reste isolé. Il n'en forme pas moins un grain d'aleurone, par un procédé qui n'est qu'une variante de celui décrit ci-dessus. A sa partie centrale et vers sa concavité, il s'épaissit de façon à prendre la forme d'un croissant à cornes aiguës. Le dépôt continuant, le côté concave devient rectiligne, et le jeune grain d'aleurone présente déjà une figure semi-circulaire ; puis son bord droit devient convexe et le grain d'aleurone finit par être globuleux comme les autres. La série des dessins de la figure 68 donne les différentes phases de ce mode de formation.

Cette graine est intéressante parce que, formant tous ses grains d'aleurone d'après le mode décrit, celui-ci peut facilement y être étudié. De plus, les grains d'aleurone ne présentent pas le même degré de développement dans toute l'épaisseur du cotylédón ; ceux de la face inférieure sont généralement plus avancés que ceux de la face opposée. Cependant il ne faudrait pas croire que le passage fût régulier d'une face à l'autre de l'organe ; il arrive souvent au contraire que dans une cellule dont les grains d'aleurone sont presque achevés, on en rencontre qui sont encore à l'état de bâtonnets, et réciproquement.

Albumen.

L'albumen entoure complètement l'embryon ; il est transparent, de consistance cornée. Une coupe de l'organe faite à sec et examinée dans l'alcool absolu ne laisse voir qu'une masse hyaline homogène où l'on ne peut distinguer aucun élément histologique. Si l'on fait arriver une goutte d'eau sous le couvre-objet, la coupe se dilate immédiatement, et l'on peut reconnaître la structure du tissu. On y voit l'indication de grandes cellules irrégulières à parois minces, formant un parenchyme homogène (pl. 3, fig. 35). Elles contiennent une substance gélifiée qui les remplit entièrement sans qu'il reste la plus faible trace de la cavité. A l'état sec, cette substance se rapprochait par ses caractères optiques de la mince membrane cellulosique qui limite les cellules, et la coupe paraissait anhiste. L'eau, en gonflant la matière remplissante, la rend moins dense et moins réfringente, et permet de la distinguer de la paroi cellulosique.

L'albumen est recouvert sur sa face externe par une assise de cellules beaucoup plus petites que les précédentes, à peu près cubiques, dont les membranes assez épaisses et cellulosiques opposent une barrière solide au contenu visqueux des cellules internes. Les éléments de l'épiderme ne diffèrent pas seulement de ceux du parenchyme par leur structure, mais encore par leur contenu ; on y trouve de petits grains d'aleurone.

RICINUS COMMUNIS L.

L'étude de la graine de Ricin a été faite déjà par M. Sachs et par A. Gris, dans les mémoires cités plus haut. Il serait inutile de revenir sur la forme extérieure de l'albumen et du cotylédon, mais la structure interne de ces organes est, comme je l'ai dit d'une façon générale au chapitre de l'historique, incomplète pour le point de vue où je me suis placé, et je la reprends en entier.

LA GRAINE MURE.

Cotylédon.

Tissus. — *Epiderme.* — Un épiderme mince, sans stomates, composé de cellules tabulaires à parois latérales planes, recouvre les deux faces de l'organe.

Parenchyme. — L'épiderme limite un parenchyme peu développé, constitué par cinq ou six assises de cellules à parois minces, incolores, cellulósiques; l'assise supérieure, à éléments un peu allongés perpendiculairement à la surface du cotylédon, est destinée à donner une couche en palissade; les cinq autres sont globuleuses et laissent entre elles de nombreux méats.

Nervation. — Disons d'abord que les nervures qui cheminent dans le parenchyme, immédiatement sous les cellules en palissade, se composent uniquement de tissu procambial. Cinq cordons de procambium, un médian et quatre latéraux disposés deux à deux symétriquement par rapport au premier, passent de l'axe de l'embryon dans le cotylédon. Le cordon médian se dirige vers le sommet de la feuille embryonnaire, que par ses ramifications il occupe presque seul; les deux nervures latérales internes, moins développées que la première, sont destinées à la marge du cotylédon; enfin les nervures latérales externes, les plus faibles, s'inclinent fortement vers le dehors et se répandent dans les oreillettes. Ces cordons du premier ordre se relient entre eux par de grands arcs situés

non loin des bords du cotylédon. De ces nervures et de leurs anastomoses partent de nombreux rameaux qui eux-mêmes se subdivisent en rameaux de plus en plus petits, anastomosés à leur tour.

La nervation est donc palmée avec anastomoses. Contrairement à ce que j'ai rencontré dans beaucoup de cotylédons, le système des nervures n'est pas complet à la maturité de la graine. Les dernières nervures n'apparaîtront que pendant la germination; les plus fines que l'on puisse maintenant observer ne sont même pas constituées par des faisceaux de cellules procambiales, mais par des cellules isolées beaucoup plus allongées que les cellules du parenchyme, anastomosées entre elles. Les mailles qui en résultent ne contiennent pas encore de terminaisons libres.

CONTENU CELLULAIRE. — Le contenu cellulaire du cotylédon ne différant que peu de celui de l'albumen, je remets sa description à l'histoire de ce dernier organe.

Albumen.

TISSUS. — L'albumen se compose d'un parenchyme homogène à cellules globuleuses, généralement un peu allongées radialement. Elles présentent entre elles, contrairement aux observations de M. Sachs (1), de nombreux méats; leur volume dépasse beaucoup celui des cellules cotylédonaires; les parois, minces, ponctuées, sont formées de cellulose.

CONTENU CELLULAIRE. — Le protoplasma se présente, aussi bien dans le cotylédon que dans l'albumen, sous la forme d'une couche mince, hyaline, appliquée exactement contre la paroi cellulaire.

La seule substance de réserve ayant pris forme dans ces deux organes consiste, comme on sait, en matière protéique sous forme de grains d'aleurone. Ceux de l'albumen sont trop

(1) Sachs, *Ueber das Auftreten der Stärke*, etc. (*Bot. Zeit.*, 1859, p. 179).

connus pour que j'en donne une description ; je renvoie, pour cela, au mémoire de M. Pfeffer (1) et aux traités d'anatomie végétale. J'ajouterai toutefois qu'entre ces grains pour ainsi dire classiques, et qui forment la partie la plus considérable de la réserve, il en existe d'autres beaucoup plus petits, de volume variable, dont les plus ténus n'ont guère que le sixième du diamètre des premiers. Ces petits grains sans enclaves se rencontrent seuls dans les deux ou trois rangs de cellules qui terminent extérieurement l'albumen.

Les grains d'aleurone du cotylédon présentent moins d'intérêt au point de vue de leur structure que ceux de l'albumen. De forme globuleuse et de tailles diverses, ils offrent un diamètre deux à trois fois plus faible que ces derniers ; ils ne contiennent comme enclaves qu'un très petit globoïde, difficile à voir directement, mais qu'une solution étendue de potasse met facilement à nu ; ce corps manque même dans les plus petits grains. Enfin les grains d'aleurone sont ici épars dans la cavité cellulaire, libres de toute adhérence et non englobés dans une masse solide de protoplasma.

Les épidermes et les cellules des nervures renferment de très petits grains punctiformes, sans enclaves.

GERMINATION.

Cotylédon.

FORME EXTÉRIEURE. — Le cotylédon s'étend beaucoup pendant la germination ; il atteint en longueur et en largeur huit fois environ les dimensions de l'état de repos. Toujours mince, parcouru par des nervures qui font fortement saillie sur sa face inférieure, il se colore en vert dès sa sortie de la graine.

TISSUS. — *Épiderme.* — Les cellules des deux épidermes sont d'abord le siège de nombreuses divisions, puis elles

(1) Pfeffer, *Untersuchungen über die Proteinkörner* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, 1872, VIII, p. 429).

s'agrandissent de manière à tripler tous leurs diamètres. De nombreux stomates prennent naissance sur les deux faces de l'organe, pendant tout le temps que les cellules épidermiques se multiplient ; comme cette période est d'assez longue durée, il en résulte que l'on peut trouver de ces formations à tous les degrés de développement ; elles se produisent comme il a été dit plus haut pour le *Coulteria tinctoria*.

Au commencement de la germination, quelques cellules épidermiques, également abondantes sur les deux faces du cotylédon, s'agrandissent jusqu'à acquérir un diamètre double des autres, et, se maintenant à l'extérieur au niveau des cellules voisines, font saillie vers l'intérieur dans le parenchyme. Ces cellules ne contiennent pas de formations figurées ; on n'y trouve qu'une couche pariétale excessivement mince de protoplasma. Comme les plantules dont je me suis servi avaient séjourné dans l'alcool absolu, je n'ai pu voir si ces cellules étaient des réservoirs d'une substance particulière non figurée ; mais je pense que ce sont les cellules à tannin signalées par M. Sachs dans son mémoire sur la germination des graines huileuses, sans indications ni sur leur forme, ni sur leur place. Sur la fin de la germination, on ne distingue plus ces cellules des autres éléments épidermiques.

Parenchyme. — Les cellules de l'assise supérieure s'allongent beaucoup perpendiculairement à la surface, et dessinent nettement la couche palissadique, pendant que les cellules situées au-dessous deviennent rameuses. On observe peu de divisions parallèlement à la surface, car le nombre des cellules qui se superposent directement n'est porté, pendant la germination, que de cinq à sept. Dans le sens perpendiculaire, au contraire, le nombre des cellules est doublé. Les divisions ont lieu aussi bien dans les cellules en palissade que dans les cellules rameuses.

Nervation. — En même temps que les éléments du parenchyme et de l'épiderme se multiplient, la course des nervures se complète par la formation des ramifications ultimes des nervures préexistantes. Puis les faisceaux se différencient ; un

ilôt de bois à vaisseaux isolés prend naissance sur leur face supérieure, et, à l'opposite, un liber mou à cellules présentant des sections très inégales. Entre ces deux tissus, il existe quelques séries radiales de cellules génératrices ne formant pas une couche continue. Aucun élément de seconde formation ne prend naissance.

L'épiderme qui recouvre la nervure médiane et les nervures latérales principales est renforcé, sur les deux faces du cotylédon, par quelques rangs de cellules collenchymateuses. Cet hypoderme ne rejoint pas le faisceau vasculaire; il en est séparé par les éléments ordinaires du parenchyme fondamental.

CONTENU CELLULAIRE. — La réserve aleurique contenue dans le cotylédon se dissout dès le début de la germination; elle est remplacée par des grains d'amidon qui se montrent surtout abondants dans le parenchyme inférieur à méats, dans l'épiderme supérieur, et dans une couche de cellules qui entoure les faisceaux vasculaires; les cellules en palissade et l'épiderme inférieur en contiennent à peine. Cet amidon se dissout à son tour, et alors naissent dans les cellules, par des épaissements locaux de l'utricule primordiale et condensation du protoplasma en ces points, des grains de chlorophylle; par leur faculté assimilatrice, ils fournissent à l'embryon l'aliment hydrocarboné que ses réserves épuisées ne peuvent plus lui apporter. L'évolution de ces différents corps ayant lieu essentiellement comme il a été dit pour ceux du *Coultteria tinctoria*, il est inutile de s'y arrêter davantage.

Albumen.

FORME EXTÉRIEURE. — A l'état de vie latente de la graine, l'albumen enveloppe complètement l'embryon. Pendant la germination, l'albumen suit tout d'abord l'extension des cotylédons en les enveloppant encore. Les cotylédons s'accroissant de plus en plus et s'écartant l'un de l'autre, l'albumen se trouve divisé en deux parts égales suivant le plan de contact des cotylédons. Chacune des moitiés reste adhérente à la face

inférieure du cotylédon correspondant. Tandis que la longueur et la largeur de l'albumen vont un certain temps en croissant, son épaisseur diminue sans cesse, et bientôt il disparaît. Ce moment coïncide avec la présence dans le cotylédon de la quantité maximum d'amidon. L'albumen demeure blanc pendant toute la durée de son existence.

STRUCTURE INTERNE. — L'extension qu'éprouve l'albumen n'est pas due à la multiplication de ses cellules, mais à leur accroissement et à leur déformation. A l'état de repos de la graine, les cellules oblongues de l'albumen étaient dirigées radialement; elles s'aplatissent peu à peu, et leur grande dimension devient tangentielle. C'est ce qui explique à la fois l'extension et l'aplatissement qu'éprouve l'organe, dans les premiers temps de la germination. A la face interne de l'albumen, les membranes cellulaires s'amincissent d'abord et s'appliquent les unes contre les autres en formant une couche feutrée; puis elles sont résorbées. La dissolution des membranes ne se produisant qu'au contact du cotylédon, elle est due à l'action d'un liquide digestif sécrété par celui-ci.

La régression des grains d'aleurone commence, comme MM. Gris et Pfeffer l'ont déjà établi, par la mise en liberté des enclaves. Plus tard les enclaves et la masse fondamentale disparaissent par dissolution locale. L'altération a lieu simultanément dans toute l'étendue de l'organe, ce qui prouve qu'elle est due à l'activité du protoplasma, et non à l'influence de l'embryon. Les grains d'aleurone résorbés, il ne se forme ni grains d'amidon, ni grains de chlorophylle.

L'albumen du Ricin est donc vivant pendant la germination, comme l'ont établi déjà les expériences bien connues de M. Van Tieghem, puisqu'il digère lui-même ses réserves, et que ses cellules s'accroissent et se déforment.

SCHOTIA LATIFOLIA Jacq.

Parmi les graines dont les membranes cotylédonaire sont doublées d'un abondant dépôt de granulose, j'ai choisi celle du

Schotia latifolia, dont j'étudierai le développement avant l'état de vie latente et pendant la germination. La plante est cultivée au jardin du Hamma, à Alger; c'est de là que j'ai tiré les graines en voie de formation.

LA GRAINE MURE.

FORME EXTÉRIEURE. — L'embryon exalbuminé du *Schotia latifolia*, provenant d'un ovule campylotrope, se compose de deux cotylédons égaux qui, par suite de la courbure embryonnaire, présentent l'insertion de la radicule non pas à leur petite extrémité, mais sur le côté. La longueur du cotylédon est de 15 à 18 millimètres, sa largeur de 12 millimètres, et son épaisseur de 2 millimètres et demi. De couleur jaune clair, il offre une consistance cornée très dure.

Tissus. — *Épiderme*. — Un seul rang de cellules tabulaires à contours polygonaux, dont la hauteur égale la largeur, constitue l'épiderme de cet embryon. Les parois sont minces, celluloseuses et recouvertes d'une mince couche de cutine. Ainsi qu'on le rencontre souvent, l'épiderme inférieur a les membranes plus épaisses que son homologue; cet épiderme présente encore cette particularité qu'à l'intersection de ses parois latérales se trouvent de petits méats aérifères à section triangulaire. De nombreux indices de récentes divisions, consistant en ce que certaines parois n'ont pas encore atteint l'épaisseur des autres, se remarquent dans les deux épidermes. Il n'y a pas encore de stomates.

Parenchyme. — Le tissu fondamental est constitué par des cellules polyédriques irrégulières, à faibles méats, formant un parenchyme homogène non différencié en couches distinctes. Le mode spécial d'épaississement des parois doit nous arrêter un instant. La membrane comprend trois couches : une moyenne, mince et ininterrompue, représente la membrane primitive, et deux couches latérales, épaisses, dues à un dépôt opéré pendant la formation de l'embryon. Ces deux dernières

sont percées de ponctuations arrondies, fermées comme d'un diaphragme par la paroi primitive (pl. 2, fig. 17). Sur la face interne de ces épaississements, on remarque un faible liséré, beaucoup plus réfringent que le reste de la membrane, dont on verra plus tard la nature. A la face supérieure du parenchyme, les cellules conservent cette structure jusqu'au contact de l'épiderme; au contraire, à la face inférieure, à partir du troisième ou du quatrième rang, l'épaississement devient de plus en plus faible, et contre l'épiderme il est insignifiant. La structure de ce parenchyme est donc identique à celle des albumens cornés.

La composition chimique de ces membranes avait été reconnue déjà par Schleiden. La lamelle moyenne a tous les caractères de la cellulose. Les lames latérales épaississantes sont formées de granulose; elles se colorent en effet en bleu par les solutions iodées seules; et quand on les met digérer, à une température convenable, dans une solution de sel marin additionnée d'acide chlorhydrique, elles se dissolvent sans laisser de résidu. Le liséré plus réfringent qui borde la membrane sur sa face interne offre les mêmes réactions; c'est donc de la granulose plus condensée et plus réfringente que celle qui forme la masse principale de la membrane.

Avec les réactifs iodés, la substance amylacée ainsi déposée sur la membrane primitive de la cellule ne se comporte pas tout à fait comme l'amidon ordinaire. Tandis que le plus souvent les grains d'amidon peuvent se colorer en bleu au contact de solutions d'iode même très étendues, les membranes cotylédonaire de la graine en question exigent des dissolutions très concentrées; et, ce qui n'arrive pas pour les grains d'amidon, les coupes colorées portées dans l'eau se décolorent instantanément.

Nervation. — Les nervures, entièrement développées quant à leur course, ne contiennent que du tissu procambial.

La nervation se compose de sept cordons principaux émanant de la radicule très près l'un de l'autre, mais cependant séparément (pl. 4, fig. 50). Le faisceau médian, le plus

développé, parvient jusqu'au sommet de l'organe; à cause de l'asymétrie du cotylédon, il n'en occupe pas la partie moyenne et n'est médian que par rapport au mode de distribution des autres faisceaux. Les faisceaux latéraux, plus rapprochés l'un de l'autre et moins développés dans la plus petite moitié du cotylédon que dans l'autre, se répandent dans les bords de l'organe et dans les oreillettes. Tous ces faisceaux s'anastomosent en arcades les uns avec les autres, émettent sous des angles très obtus de nombreux rameaux eux-mêmes anastomosés, et forment un système de nervation palmé et anastomosé, avec terminaisons libres dans l'intérieur des mailles et à la périphérie.

Les faisceaux principaux sont placés sur une surface courbe occupant sensiblement le milieu de l'épaisseur du cotylédon, mais leurs ramifications ne peuvent être rapportées à aucune surface. Les cordons qui relient transversalement les nervures principales forment des arcs à convexité supérieure (pl. 4, fig. 49), et de ces arcs, ainsi que des cordons principaux, s'élèvent les plus petites nervures, qui se distribuent dans la moitié supérieure du parenchyme cotylédonaire.

CONTENU CELLULAIRE. — Le contenu des cellules consiste en une utricule pariétale de protoplasma, dans laquelle sont enchâssés des grains d'aleurone petits, globuleux, sans enclaves. Ainsi, dans ce cotylédon, les grains d'aleurone ne sont pas épars et libres dans la cavité cellulaire, mais formés, comme tous les corpuscules cellulaires, dans le protoplasma pariétal; ils n'ont pas suffisamment grandi pour se gêner les uns les autres, comme ceux de l'Arachide, et il n'a pas été nécessaire que quelques-uns d'entre eux se détachassent de l'utricule pour permettre aux autres de s'accroître davantage; ils ont pu, par conséquent, demeurer à la place où ils étaient nés. On peut se convaincre de cette disposition par l'examen attentif d'une des cellules du cotylédon. On voit les grains d'aleurone, non pas épars dans la cavité cellulaire, entassés irrégulièrement les uns sur les autres en laissant entre eux

des vides, comme il arrive, par exemple, dans l'Arachide et dans le Ricin, mais disposés régulièrement les uns à côté des autres comme des pavés, et entre eux on aperçoit une mince bandelette de protoplasma qui les relie comme un ciment. En faisant varier la mise au point, on remarque qu'il n'existe qu'une seule assise de ces grains, suivant toutes les ondulations de l'utricule primordiale. Ces observations suffisent, je crois, à démontrer la position pariétale des grains d'aleurone.

Si l'on fait macérer quelque temps dans un liquide aqueux des coupes microscopiques du cotylédon de *Schotia*, les grains d'aleurone se dissolvent, et l'on aperçoit, appliqué contre la membrane cellulaire, un réseau très fin, dont les bandelettes sont de nature protéique et dont les mailles ont la même grandeur que les grains d'aleurone.

De l'huile, en très petite quantité, se trouve aussi dans ces cellules.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Après ce qui a été dit de la formation de l'embryon du *Coulteria tinctoria*, il est inutile de répéter en détail ce qui se passe chez celui du *Schotia*, qui présente le même type de développement; je ne m'occuperai que des points spéciaux à ce cotylédon.

Tissus. — Le caractère particulier des tissus est ici l'épaississement des membranes, et c'est principalement à ce point de vue que j'étudierai le développement de ce cotylédon.

La granulose, qui forme, comme on l'a vu, la masse principale de la paroi cellulaire, se dépose progressivement sur une paroi cellulosique mince. Ainsi, au commencement de son existence, le cotylédon se compose, comme c'est le cas général, de cellules à parois minces, cellulosiques. A un moment qui sera plus tard déterminé, on aperçoit, de chaque côté de cette membrane primitive, une couche de renforcement d'abord très faible, qui en double à peine l'épaisseur, et qui se colore

en bleu au contact des solutions iodées concentrées. C'est la première apparition de la couche d'épaississement. Le dépôt augmente graduellement, et, quand il a atteint sa puissance définitive, sa face interne se condense et devient plus réfringente que le reste.

Pendant sa formation, ce dépôt de granulose m'a paru répondre aux mêmes réactions chimiques que dans la graine mûre; il n'en est pas de même de ses propriétés physiques et spécialement de son état d'agrégation. Ainsi, tandis que dans la graine mûre l'eau paraît sans influence sur lui, elle le dissout au contraire pendant qu'il se dépose. Les coupes du cotylédon jeune deviennent poisseuses quand on les mouille; et si on les porte sous le microscope après les avoir traitées par la solution iodurée d'iode, on voit que tout le liquide qui imprègne la préparation est coloré en bleu, mais sans qu'il y ait de précipité. En soulevant le couvre-objet, on aperçoit des courants de cette solution bleue se produire en tous sens. L'eau a donc dissous de la granulose, et la solution, plus dense que le liquide ambiant, s'y mêle difficilement et forme les courants dont il est question.

Il reste à indiquer à quel moment apparaît la granulose, par rapport au contenu de la cellule et au degré de perfectionnement du squelette cellulaire du cotylédon.

On verra bientôt que la graine du *Schotia* est l'une de celles qui contiennent, au commencement du développement, de l'amidon transitoire. Comme il était raisonnable de le supposer, les deux produits amylacés, grains d'amidon et granulose, se montrent en même temps dans les cellules; ils augmentent d'abord parallèlement; puis plus tard, pendant que les grains d'amidon se résorbent, le dépôt de granulose continue de s'épaissir et de se condenser.

On pouvait encore prévoir que des cellules dont les parois sont ainsi épaissies deviennent incapables de se diviser. L'observation confirme cette prévision. Les tissus ont donc atteint tout leur développement, la graine est arrivée à ses dimensions définitives, lorsque apparaît dans les cellules la matière amy-

laccée. Ce seul fait que les parois cellulaires atteignent ici une épaisseur inaccoutumée entraîne donc pour le *Schotia* une exception aux lois de développement qui paraissent se dégager de l'étude des autres graines. Partout, en effet, où de l'amidon transitoire se forme dans les cotylédons, cette substance apparaît bien avant que le cotylédon soit arrivé au terme de son développement tissulaire, et augmente dans les cellules en même temps que celles-ci se multiplient pour édifier le cotylédon. Ici l'amidon n'envahit le cotylédon que lorsque celui-ci est entièrement formé.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique*. — J'ai été assez heureux pour rencontrer des embryons de *Schotia* très jeunes, et j'ai pu suivre, par conséquent, toute l'évolution du corps protoplasmique.

Dans les plus jeunes graines examinées, un protoplasma granuleux, massif, remplissait la cellule. Au milieu se trouvait un noyau brillant, hyalin et très réfringent, contenant de un à trois nucléoles. La coloration verte du cotylédon, plus intense vers sa face inférieure que vers sa face supérieure, est due à de la chlorophylle répartie uniformément sur toutes les granulations protoplasmiques. Chez des embryons plus âgés, des vacuoles s'étaient formées, en sorte que le corps protoplasmique consistait en une couche pariétale encore épaisse, reliée au noyau par des filaments rayonnants. Plus tard les vacuoles s'agrandissant, les filaments deviennent plus minces, finissent par se rompre, et la cellule ne contient plus qu'un mince enduit de protoplasma logeant le noyau en un de ses points.

Enfin, au moment de l'apparition des grains d'aleurone, il se produit dans le protoplasma un réseau délicat dont j'ai déjà parlé.

J'ai pu rarement suivre aussi complètement le développement du corps protoplasmique. Presque toujours, dans les plus jeunes graines que je possédais, des vacuoles existaient déjà. Mais comme à partir de ce moment j'ai vu le protoplasma

de toutes les graines passer par les mêmes phases, il est permis d'admettre que les états antérieurs ont été identiques à ceux du *Schotia*. D'ailleurs, dans tous les organes, les cellules qui arrivent à l'état durable présentent de même, successivement, un protoplasma massif, un protoplasma aréolé, puis un enduit pariétal de cette substance.

Dérivés du protoplasma. — Il se produit dans ce cotylédon de l'amidon, qui n'est que transitoire, puis des grains d'aleurone.

Le moment de la naissance des grains d'amidon a déjà été indiqué; j'ajouterai que ces grains, peu nombreux, restent toujours petits. Le principal rôle, au point de vue des réserves amylacées, paraît être dévolu, en effet, à la granulose déposée sur les parois cellulaires. Ayant assisté, sur des embryons très jeunes, à la naissance même des grains d'amidon, j'ai vu leurs leucites formateurs. Ils ont la forme de petits bâtonnets courbes; le grain d'amidon naît dans leur concavité.

La naissance des grains d'aleurone offre ici quelques particularités intéressantes. Bien avant l'apparition des premiers rudiments de ces grains, on remarque, s'étendant à toute la surface de l'utricule protoplasmique, un réseau à mailles petites, polygonales et égales entre elles. La présence des grains d'amidon, comme on l'a vu, très petits et rares, ne gêne pas l'établissement de ce réseau. Les bandelettes qui le forment, extrêmement déliées, sont de nature protéique. Le moyen qui m'a le mieux réussi pour mettre en évidence ce réseau très délicat, consiste à traiter les coupes d'abord par la teinture d'iode, qui durcit le protoplasma et le colore en jaune, puis par le liquide de Grönland. Ce procédé peut servir avant la naissance des grains d'aleurone et lorsqu'ils sont déjà formés; dans ce dernier cas, le liquide de Grönland dissout les grains d'aleurone, très altérables (1), et permet d'apercevoir le réseau.

(1) Après cinq jours de macération dans une solution de sublimé avec l'alcool absolu, les grains d'aleurone du *Schotia* se dissolvent encore dans l'eau et

Peu de temps après que le réseau ci-dessus mentionné a apparu dans les cellules, les grains d'aleurone commencent à s'y montrer; ils naissent sous forme de bâtonnets courbes, minces et de longueur variable, composés d'une substance albuminoïde très dense et très réfringente. Peu à peu quelques-uns de ces bâtonnets, par leur croissance ou par leur réunion à d'autres bâtonnets convenablement placés, représentent une circonférence complète; cependant on en trouve beaucoup qui restent à l'état d'ares. Je me suis assuré que ces bâtonnets sont toujours adjacents aux bandes du réseau qui vient d'être décrit. Lorsqu'ils occupent une circonférence entière, l'anneau qu'ils forment occupe la périphérie d'une des mailles du réseau (pl. 6, fig. 74). Il y a donc une relation entre la présence du réseau protoplasmique et la production des grains d'aleurone; chaque grain d'aleurone naît dans une des mailles de ce réseau, et, comme on va le voir, l'occupe plus tard tout entière. Il semble donc que l'utricule primordiale se divise en nombreux polygones dont chacun est chargé de former un grain d'aleurone.

Les bâtonnets ou les anneaux ci-dessus, placés comme il vient d'être dit, s'épaississent de plus en plus; les bâtonnets, en passant par l'état de croissants, et les anneaux en s'épaississant vers le centre, arrivent à former des grains d'aleurone pleins.

Quelques grains d'aleurone naissent sans être précédés de bâtonnets. A cet effet, le protoplasma correspondant à une maille du réseau sécrète une masse compacte ayant la même étendue, par conséquent, qu'un grain d'aleurone, mais peu épaisse. Cette sorte de petit disque s'épaissit, et il en résulte un grain d'aleurone semblable aux autres.

Vers le moment de la maturité de la graine, les grains d'amidon du cotylédon se résorbent, et il ne reste plus, comme réserve figurée, que les grains d'aleurone.

dans le liquide de Grönland; ils ne forment donc pas de composé insoluble avec le sel mercurique.

GERMINATION.

FORME EXTÉRIEURE. — Le cotylédon s'agrandit un peu pendant la germination et verdit. Vers la fin de cette période, il s'enroule faiblement sur lui-même, la face supérieure devenant fortement concave.

TISSUS. — Par l'effet de l'enroulement du cotylédon, sa face inférieure prend un développement beaucoup plus grand que sa face supérieure ; cependant aucune division cellulaire n'a lieu dans les épidermes, et leur extension est produite uniquement par l'agrandissement des cellules. Quelques stomates, très rares, se forment sur les deux épidermes. Les cellules de bordure paraissent naître par la division d'une cellule épidermique quelconque, sans que, comme il arrive souvent, des divisions préparatoires aient lieu.

Le parenchyme ne forme pas de nouvelles cellules, ni ne change la disposition de celles qui existaient précédemment ; il ne présente à étudier que la résorption de la granulose. Cette résorption commence lorsque apparaissent les grains d'amidon de seconde formation, par conséquent à une époque déjà avancée de la germination. Sur le bord libre de la membrane cellulaire, on voit apparaître des stries radiales qui sont les premiers indices de l'altération. En colorant les coupes par l'iode, on remarque en effet que ces stries sont produites par une dissolution locale de la paroi. Peu à peu, le processus continuant, tout le dépôt de granulose disparaît, et le parenchyme se trouve de nouveau composé de cellules à parois minces et réticulées. La résorption de la granulose commence sur les faces du cotylédon bien plus tôt qu'au centre, et l'on trouve sur le bord des coupes les cellules à parois tout à fait minces, pendant que dans les parties centrales elles paraissent encore inattaquées.

Les nervures forment quelques trachées à leur face supérieure.

CONTENU CELLULAIRE. — Le premier phénomène qui se manifeste pendant la germination de cette graine est, comme toujours, l'altération des grains d'aleurone. A l'état de repos de l'embryon, toute différence entre le bâtonnet ou l'anneau initial du grain et la substance déposée ensuite était effacée, et le grain d'aleurone paraissait homogène. Un des premiers effets de la germination est de faire réapparaître les différentes parties dont s'est formé le grain d'aleurone ; puis sa substance fondamentale se dissout peu à peu, respectant les bâtonnets ou les anneaux. C'est ainsi que l'on voit les grains repasser, en suivant l'ordre inverse, par tous les états décrits lors de leur formation ; bientôt on ne voit plus dans la cellule que des bâtonnets et des anneaux (pl. 6, fig. 70). Puis les anneaux venant à se rompre, se convertissent en bâtonnets ; ceux-ci se brisent de plus en plus et finissent par disparaître totalement. La cellule ne contient plus trace des grains d'aleurone.

A ce moment, le réseau que nous avons vu se former dans l'utricule primordiale pendant le développement du cotylédon, que nous avons retrouvé à l'état de vie latente de la graine, réapparaît avec beaucoup de netteté ; ses bandelettes sont beaucoup plus solides que précédemment, et des préparations en peuvent être conservées pendant longtemps. Mais sur des graines dont la germination est un peu plus avancée, le réseau disparaît et l'utricule pariétale redevient une couche homogène de protoplasma.

Après que les grains d'aleurone ont été résorbés, alors que le réseau protoplasmique a cessé d'exister, d'autres formations prennent naissance dans les cellules du cotylédon. Il s'élève de l'utricule pariétale vers la cavité cellulaire des éminences arrondies à leur sommet, quelquefois simples (pl. 6, fig. 75, *a, b, c, d*), d'autres fois portant de courtes ramifications, elles-mêmes arrondies, qui les rendent tuberculeuses. L'enduit protoplasmique est entièrement couvert de ces corps, qui se colorent en jaune brun par l'iode, en rouge carmin par l'éosine, et révèlent, par ces réactions, leur nature azotée.

Entre eux et le protoplasma de la cellule, on ne voit pas de limite de séparation. Ces formations doivent être considérées comme des leucoleucites formateurs d'amidon. Il naît bientôt à leur intérieur de très fins granules amylacés, au début éloignés l'un de l'autre; en grossissant, ils se rapprochent; la substance du leucite qui se trouvait entre eux disparaît inversement, et bientôt le leucite étant entièrement comblé par les grains d'amidon, on ne retrouve plus trace de sa matière constituante. Les grains d'amidon d'un leucite se soudent de manière à former un grain composé.

J'ai déjà dit que la naissance des premiers grains d'amidon correspond au début de l'altération du dépôt de granulose et à la différenciation, dans le cordon procambial, des premières trachées. Les grains d'amidon se forment d'abord dans les leucites autour des faisceaux vasculaires, puis de là se répandent dans tout le cotylédon.

Lors de la naissance des leucites et même pendant les premiers temps de leur fonctionnement, le cotylédon, étant incolore, n'assimile pas, et les grains d'amidon qui apparaissent ne peuvent être qu'un produit de la transformation des matières hydrocarbonées contenues dans la graine, évidemment de la granulose. Peu après, avant que l'amidon qui se forme à leur intérieur ait atteint son abondance maximum, les leucites se colorent en vert, comme le cotylédon lui-même. Ils n'assimilent cependant pas.

Le cotylédon entre bientôt dans la période de régression; la granulose appliquée aux parois achève de se dissoudre, et l'amidon est plus ou moins complètement résorbé. Dans un de ses organes examiné au moment où il se flétrissait et était près de se détacher de la tige, les membranes cellulaires étaient revenues à leur minceur primitive; les grains d'amidon composés, plus rares, avaient subi une diminution notable de volume et restaient toujours englobés dans un mince revêtement de protoplasma, reste du leucite; une utricule protoplasmique mince, colorée en vert, tapissait la paroi cellulaire.

Il ne se forme pas de grains de chlorophylle.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

Au moyen des observations décrites précédemment et de beaucoup d'autres, qu'il est inutile de reproduire pour éviter les redites, j'ai pu dresser le tableau suivant de l'histoire du cotylédon et de l'albumen en général.

Dans cet exposé, je suivrai la marche adoptée précédemment pour la description des espèces. J'étudierai les réservoirs nutritifs de la graine à l'état de vie latente, puis pendant leur formation, et enfin pendant la période germinative. Ces trois chapitres seront naturellement divisés chacun en deux sections : histoire des tissus, histoire du contenu des cellules. Après l'examen de chacune des parties qui constituent le cotylédon, on fera ressortir les relations avec les parties précédemment décrites ; il en résultera finalement un résumé général de l'histoire de cet organe.

LA GRAINE MURE.

Cotylédons.

Tissus. — *Epiderme*. — Un épiderme toujours simple et bien différencié recouvre les cotylédons. La forme des différentes cellules épidermiques varie peu à l'état de vie latente. D'habitude aussi longues que larges, elles s'étendent dans le sens de l'axe longitudinal du cotylédon chez les *Sapindus cinereus*, *Armeniaca sativa*, *Prunus Cerasus*, etc. Le plus souvent aplaties en tables, elles peuvent devenir cubiques (*Schotia latifolia*) ou même s'allonger en prismes perpendiculairement à la surface, comme à la face interne du scutelle du Maïs et de plusieurs autres Graminées, ainsi que dans la Châtaigne. Généralement les cellules épidermiques sont disposées sans ordre à la surface du cotylédon ; chez le *Linum usitatissimum*, elles se rangent en séries longitudinales. Les parois latérales sont presque toujours planes ; cependant, parfois, elles deviennent

Entre eux et le protoplasma de la cellule, on ne voit pas de limite de séparation. Ces formations doivent être considérées comme des leucocytoblastes formateurs d'amidon. Il naît bientôt à leur intérieur de très fins granules amyloïdes, au début éloignés l'un de l'autre; en grossissant, ils se rapprochent; la substance du leucite qui se trouvait entre eux disparaît inversement, et bientôt le leucite étant entièrement comblé par les grains d'amidon, on ne retrouve plus trace de sa matière constituante. Les grains d'amidon d'un leucite se soudent de manière à former un grain composé.

J'ai déjà dit que la naissance des premiers grains d'amidon correspond au début de l'altération du dépôt de granulose et à la différenciation, dans le cordon procambial, des premières trachées. Les grains d'amidon se forment d'abord dans les leucites autour des faisceaux vasculaires, puis de là se répandent dans tout le cotylédon.

Lors de la naissance des leucites et même pendant les premiers temps de leur fonctionnement, le cotylédon, étant incolore, n'assimile pas, et les grains d'amidon qui apparaissent ne peuvent être qu'un produit de la transformation des matières hydrocarbonées contenues dans la graine, évidemment de la granulose. Peu après, avant que l'amidon qui se forme à leur intérieur ait atteint son abondance maximum, les leucites se colorent en vert, comme le cotylédon lui-même. Ils n'assimilent cependant pas.

Le cotylédon entre bientôt dans la période de régression; la granulose appliquée aux parois achève de se dissoudre, et l'amidon est plus ou moins complètement résorbé. Dans un de ses organes examiné au moment où il se flétrissait et était près de se détacher de la tige, les membranes cellulaires étaient revenues à leur minceur primitive; les grains d'amidon composés, plus rares, avaient subi une diminution notable de volume et restaient toujours englobés dans un mince revêtement de protoplasma, reste du leucite; une utricule protoplasmique mince, colorée en vert, tapissait la paroi cellulaire.

Il ne se forme pas de grains de chlorophylle.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

Au moyen des observations décrites précédemment et de beaucoup d'autres, qu'il est inutile de reproduire pour éviter les redites, j'ai pu dresser le tableau suivant de l'histoire du cotylédon et de l'albumen en général.

Dans cet exposé, je suivrai la marche adoptée précédemment pour la description des espèces. J'étudierai les réservoirs nutritifs de la graine à l'état de vie latente, puis pendant leur formation, et enfin pendant la période germinative. Ces trois chapitres seront naturellement divisés chacun en deux sections : histoire des tissus, histoire du contenu des cellules. Après l'examen de chacune des parties qui constituent le cotylédon, on fera ressortir les relations avec les parties précédemment décrites ; il en résultera finalement un résumé général de l'histoire de cet organe.

LA GRAINE MURE.

Cotylédons.

Tissus. — *Epiderme*. — Un épiderme toujours simple et bien différencié recouvre les cotylédons. La forme des différentes cellules épidermiques varie peu à l'état de vie latente. D'habitude aussi longues que larges, elles s'étendent dans le sens de l'axe longitudinal du cotylédon chez les *Sapindus cinereus*, *Armeniaca sativa*, *Prunus Cerasus*, etc. Le plus souvent aplaties en tables, elles peuvent devenir cubiques (*Schotia latifolia*) ou même s'allonger en prismes perpendiculairement à la surface, comme à la face interne du scutelle du Maïs et de plusieurs autres Graminées, ainsi que dans la Châtaigne. Généralement les cellules épidermiques sont disposées sans ordre à la surface du cotylédon ; chez le *Linum usitatissimum*, elles se rangent en séries longitudinales. Les parois latérales sont presque toujours planes ; cependant, parfois, elles deviennent

quent triangulaire, et c'est cette dernière qui donnera naissance, pendant la germination, aux cellules de bordure.

Dans les cas où j'ai observé, à l'état de maturité de la graine, des ébauches de stomates, c'était toujours sur les deux faces du cotylédon. Il n'en est pas de même lorsque ces organes ont atteint leur dernier achèvement. On les trouve sur les deux faces dans le *Gleditschia triacanthos*, sur la face supérieure seulement chez le *Dipteryx odorata*; enfin uniquement à la face inférieure chez les *Dolichos pruriens*, *Erythrina Crista-galli*, etc.

L'épiderme ne forme jusqu'à la maturité ni glandes, ni poils. Si ces derniers organes ont été rencontrés sur quelques embryons (1), cela a toujours été sur l'axe de la jeune plante, et non sur ses cotylédons.

On voit donc qu'en thèse générale l'épiderme des cotylédons à l'état de repos présente peu de différences chez les différentes espèces, et qu'il offre moins de différenciation et de perfectionnement que l'on a l'habitude d'en rencontrer chez les autres organes. En outre, la seule formation dérivée de ce tissu étant ici les stomates, on peut voir par la distribution de ces organes, qui se rencontrent à peu près indifféremment sur une face ou sur l'autre, que les deux épidermes du cotylédon diffèrent moins que ceux des feuilles ordinaires.

Parenchyme. — L'espace compris entre les deux épidermes est occupé par une couche de parenchyme dont l'épaisseur varie beaucoup; très mince, lamelliforme chez les cotylédons foliacés, tels que ceux du Ricin, elle peut atteindre plus d'un centimètre d'épaisseur, comme chez l'*Æsculus Hippocastanum* et le *Simaba Cedron*. Le nombre des cellules qui composent cette couche est naturellement en rapport avec son épaisseur. Je n'ai jamais trouvé moins de quatre cellules parenchymateuses superposées directement entre les épidermes (*Sterculia platanifolia*); les cotylédons foliacés en présentent de six à quinze; dans les cotylédons volumineux cités ci-dessus, le nombre de

(1) De Candolle, *Sur quelques cas d'embryons velus* (Bull. de la Soc. bot. de France, 1875, t. XXII, p. 229).

ces cellules s'élève quelquefois à plusieurs centaines (*Æsculus*, 140; *Simaba*, 240, approximativement).

La conformation du parenchyme cotylédonaire diffère suivant les plantes. Souvent la forme des cellules ne varie pas dans toute l'épaisseur de l'organe, et le parenchyme est homogène; les éléments présentent une forme globuleuse ou polyédrique, et entre eux il existe toujours des méats aérifères (*Simaba Cedron*, *Æsculus Hippocastanum*, *Erythrina Crista-galli*, *Jambosa vulgaris*, *Camphora officinarum*, *Caryophyllus aromaticus*, *Laurus nobilis*, *Eugenia axillaris*, *Dipteryx odorata*, *Physostigma venenosum*, *Zea Mays*, *Anacardium occidentale*, *Phaseolus vulgaris*, *Schotia latifolia*, *Zizygium jambolanum*, etc).

Le parenchyme peut être hétérogène, et cela arrive de deux façons. Dans la plupart des cotylédons minces, une ou plusieurs assises de cellules s'allongent perpendiculairement à la surface, se disposent en séries régulières radiales et tangentielles, et forment ainsi une couche palissadique (*Trigonella Fœnum-græcum*, *Ulmus campestris*, *Bauhinia purpurea*, *Ricinus communis*, *Coulteria tinctoria*, *Acer platanoides*, *Sterculia platanifolia*, etc). La couche en palissade n'existe dans les cotylédons qu'à la face supérieure; je ne l'ai jamais trouvée à la face inférieure, même chez l'*Eucalyptus robusta*, où la feuille possède une telle couche sur ses deux faces.

Entre la couche palissadique et les éléments isodiamétriques situés au-dessous, la limite est souvent très nette; c'est au-dessous de cette limite que sont situées les nervures. Mais il arrive aussi que les cellules parenchymateuses de la face inférieure s'allongent toutes perpendiculairement à la surface du cotylédon, et qu'entre les cellules supérieures les plus longues, et les cellules inférieures presque globuleuses, il y a toutes les transitions; de plus il n'y a pas d'arrangement en séries tangentielles. Une telle disposition constitue un passage entre le parenchyme homogène et le parenchyme à couche palissadique; on pourrait l'appeler parenchyme radiant (*Castanea vulgaris*, *Hakea saligna*, *Sapindus cinereus*, *Kœlre-*

teria paniculata, *Pistacia vera*, *Semecarpus Anacardium*, *Linum usitatissimum*, etc).

Le parenchyme devient encore hétérogène lorsque, toujours à sa face supérieure, il se forme, comme dans l'*Arachis hypogaea*, le *Corylus Avellana*, une couche de cellules rectangulaires disposées en séries perpendiculaires à la surface. Ces assises, qui conservent leur activité génératrice, fonctionnent pendant la formation de l'embryon, et plus tard pendant sa germination, en produisant de nouvelles cellules par des cloisons parallèles à la surface, et augmentent ainsi l'épaisseur du cotylédon (pl. 2, fig. 18).

Ainsi on distingue dans les cotylédons quatre sortes de parenchyme : le parenchyme homogène, le parenchyme radiant, le parenchyme à couche palissadique et le parenchyme à couche génératrice. Comme on le verra plus tard par l'étude des caractères que ces formes de tissus impriment aux cotylédons, l'arrangement homogène et celui à couche palissadique sont les plus naturels ; les autres paraissent n'en être que de simples variétés.

Chez tous, il existe des espaces intercellulaires remplis d'air, dont les dimensions varient à la fois selon les graines considérées, et dans une même graine selon la nature du tissu. Dans les parenchymes formés de cellules globuleuses, les espaces sont plus grands que dans les couches à palissade. Dans des cotylédons différents, les méats peuvent être très réduits, à peine visibles (Ricin, Trigonelle, etc.), ou bien devenir presque aussi grands que les cellules elles-mêmes, comme dans la graine sèche d'*Erythrina Crista-galli* (pl. 2, fig. 19). Les membranes qui confinent aux espaces intercellulaires déjà très développés de ce cotylédon se bombent vers le dehors, et augmentent encore la capacité de la lacune ; de là la grande légèreté spécifique de cette graine, déjà reconnue par M. Van Tieghem être due à la structure du cotylédon (1). Si l'on

(1) Van Tieghem, *Observations sur la légèreté spécifique et la structure de l'embryon de quelques Légumineuses* (Ann. des sc. nat., 6^e série, 1875, t. I, p. 383).

mouille des coupes microscopiques, le contenu cellulaire se gonfle, repousse les membranes bordant les lacunes, les bombe en sens inverse, et la lacune reprend l'aspect habituel (pl. 2, fig. 20). Il est donc indispensable, pour mettre en évidence la disposition ci-dessus, de ne se servir dans la préparation des coupes que de liquides non aqueux.

L'assertion de M. Sachs, d'après laquelle quelques cotylédons, entre autres celui du Ricin, ne contiendraient pas de méats et seraient formés de méristème, est donc erronée (1); la conclusion qu'il en tire, que le parenchyme de la feuille embryonnaire doit former de nouvelles cellules pendant la germination, tombe d'elle-même.

Comme généralité sur le parenchyme cotylédonnaire, on peut encore dire que ses cellules sont beaucoup plus grandes dans les cotylédons épais que dans les cotylédons minces. On a déjà vu, à la description spéciale du Marronnier et de l'Erythrine, la cause de cette différence. Les cotylédons épais acquièrent vite leur nombre définitif de cellules, et c'est ensuite uniquement par l'agrandissement des éléments déjà formés qu'ils arrivent à leur taille adulte. Les cotylédons minces, au contraire, doivent surtout leur croissance à la formation constante de nouvelles cellules, formation qui se continue jusqu'à un moment très voisin de la maturité de la graine. Enfin, vers les faces de l'organe, à l'exception de celles qui sont recouvertes par des cellules en palissade, et de la face supérieure du parenchyme radiant, les éléments se rapetissent; contre les épidermes, ils n'ont plus quelquefois que le cinquième ou le sixième du diamètre de ceux du centre (*Esculus Hippocastanum*). Il en est de même autour des nervures.

On peut voir, en comparant un grand nombre de cotylédons, que la disposition homogène du parenchyme se trouve habituellement dans ceux qui présentent une grande épaisseur, tandis que le parenchyme en palissade existe exclusivement

(1) J. Sachs, *Ueber das Auftreten der Stärke*, etc. (*Bot. Zeit.* 1859, p. 179.)

dans les cotylédons minces. On trouve donc déjà, par la considération d'un seul tissu, l'indice d'une division des cotylédons en deux groupes : les cotylédons épais et à parenchyme homogène, et les cotylédons minces à couche palissadique. En comparant plus tard entre eux les différents tissus et systèmes de tissus des cotylédons, nous verrons que ce résultat, ici seulement entrevu, se confirme.

Les membranes parenchymateuses présentent ordinairement une grande minceur. Dans quelques cas rares, elles s'épaississent considérablement (*Schotia latifolia*, *Tamarindus indica*, *Mucuna urens*, *Hymenaea Courbaril*) et forment un tissu de consistance cornée. Entre ces deux degrés extrêmes d'épaississement, on peut placer quelques intermédiaires (*Æsculus Hippocastanum*, *Caryophyllus aromaticus*, *Jambosa vulgaris*, *Eugenia axillaris*, *Laurus nobilis*, *Zea Mays*, *Physostigma venenosum*, *Phaseolus vulgaris*, *Arachis hypogæa*, *Zizygium jambolanum*, *Prunus Cerasus*, etc).

Des ponctuations simples existent presque toujours sur les parois cellulaires, quelle que soit leur épaisseur; elles sont naturellement limitées aux parties de la membrane qui séparent deux cavités cellulaires; le reste, confinant aux lacunes, en est dépourvu (*Erythrina*, *Castanea*, *Caryophyllus*, *Ilakea*, *Schotia*, *Arachis*, *Æsculus*, *Dipteryx*, *Ricinus*, etc).

Quant à la nature chimique des membranes cellulaires, on peut dire que dans l'immense majorité des cas elle est cellulosique; il n'y a que de rares exceptions à cette règle. Dans les cotylédons à parois très épaisses cités ci-dessus (*Schotia*, *Tamarindus*, *Mucuna*, *Hymenaea*), et aussi chez les *Balsamina hortensis* et *Tropæolum majus*, la membrane est formée de granulose; cependant la lamelle intermédiaire, qui se continue sous forme de diaphragme à travers les ponctuations, conserve les réactions de la cellulose. Le bleuissement direct au contact des solutions iodées s'observe aussi à un beaucoup plus faible degré chez le Lin, et encore moins chez le Marronnier d'Inde. La paroi n'est donc pas composée ici, comme précédemment, de granulose pure, mais d'un mélange de gra-

nulose et de cellulose, où cette dernière substance prédomine. On aurait donc là une composition qui se rapprocherait de celle du grain d'amidon.

Les appareils sécréteurs existent rarement dans le parenchyme cotylédonaire, et bon nombre de plantes qui en possèdent dans leurs tiges ou leurs feuilles en sont ici dépourvues. Les graines suivantes seules m'en ont offert. Le cotylédon du *Laurus nobilis* présente, surtout au voisinage des épidermes, des cellules sécrétantes isolées, faciles à distinguer des autres par l'absence en leur cavité de toute formation figurée; mais je n'ai pas trouvé ces glandes unicellulaires dans le cotylédon du *Laurus Camphora*. Plusieurs graines de la famille des Myrtacées (*Caryophyllus aromaticus*, *Jambosa vulgaris*, *Zizygium jambolanum*, *Eugenia axillaris*, etc.) montrent dans le parenchyme cotylédonaire, immédiatement sous l'épiderme, de grandes lacunes remplies d'huile essentielle, et bordées par des membranes appliquées les unes contre les autres; ces organes, provenant de massifs de cellules sécrétantes dont les parois ont été en partie résorbées, font saillie à la surface du cotylédon et la rendent chagrinée.

Nervation. — Voyons d'abord quelle est la structure des nervures, nous étudierons ensuite leur course.

Presque toujours la nervure est formée uniquement de procambium. Rarement on y trouve une différenciation en bois à sa face supérieure, en liber à sa face inférieure, et entre les deux une couche génératrice (*Castanea vulgaris*, *Quercus Mirbeckii*, *Eriobotrya japonica*, *Æsculus Hippocastanum*, etc.). On peut remarquer dès maintenant que les cotylédons qui présentent ce perfectionnement de leurs nervures sont tous très épais et ne contiennent que de l'amidon comme réserve ayant pris forme.

Les canaux sécréteurs qui accompagnent les nervures dans les feuilles d'un grand nombre de familles ne se retrouvent qu'exceptionnellement dans leurs cotylédons. Les Térébinthacées seules m'ont offert quelques cotylédons où les faisceaux vasculaires contiennent, dans leur partie libérienne, un

canal sécréteur bien conformé (*Pistacia vera*, *Semecarpus Anacardium*, *Anacardium occidentale*).

La distribution des nervures dans le cotylédon est très variable et peut se ramener, comme chez les feuilles ordinaires, à quatre types principaux.

La nervation est réduite à sa plus grande simplicité lorsque le cotylédon, étant étroit, ne contient qu'une nervure unique médiane, qui le parcourt dans toute son étendue, sans se ramifier; le cotylédon est *uninerve*. Il en est ainsi chez un grand nombre de Monocotylédones (*Aponogeton distachyus*, *Cordyline indivisa*, *Dracaena nutans*, *Allium Cepa*, etc.) et la plupart des Conifères.

Dans le cotylédon du *Fourcroya Redinghausii*, deux nervures cheminent parallèlement de la base au sommet, et ne se ramifient pas. On se rapproche ainsi de la nervation *parallèle* des feuilles de Monocotylédones.

Le plus souvent, le cotylédon est parcouru par des nervures ramifiées. Lorsqu'une nervure principale médiane détache de chaque côté, en s'aminçant à mesure, des nervures secondaires qui sont insérées sur elle comme les barbes sur le tuyau d'une plume, la nervation est *pennée*, la feuille est *penninerve*. Ce cas paraît très rare; je ne l'ai rencontré que dans le cotylédon de la Trigonelle et celui du Tilleul.

Si de la base du cotylédon sortent plusieurs nervures divergentes dont la grandeur va en décroissant du centre de l'organe vers ses bords, comme les doigts de la main, la nervation est *palmée*, le cotylédon est *palminerve*. Ce type comprend plusieurs variétés; souvent il existe une nervure médiane qui est la continuation de celle du pétiole (*Citrus*, *Eriobotrya*, *Ulmus*, *Sterculia*, *Schotia*, *Coulteria*, *Coffea*, *Casuarina*, *Hedera*, etc.) (1). Mais il peut arriver que le pétiole ayant un nombre pair de nervures, la nervure médiane du limbe cotylédonaire soit formée par la réunion des deux nervures internes du pétiole, ou, lorsque celles-ci se ramifient, par leurs

(1) Pl. 3, fig. 42, 44, 48; pl. 4, fig. 49, 51, 52, 53.

rameaux les plus internes (*Acer platanoides*, *Arachis hypogaea*) (1). Enfin, quelquefois il n'y a pas de nervure médiane; les nervures principales, par conséquent toutes latérales, se comportent comme si le cordon médian existait (*Fagus silvatica*, *Quercus Mirbeckii*, *Laurus tomentosa*, *Amygdalus communis*, *Æsculus Hippocastanum*, *Latania borbonica*) (2). On voit donc qu'à l'encontre de ce qui a lieu chez les feuilles ordinaires, la nervation la plus fréquente est pour les cotylédons la nervation palmée.

Étudions maintenant la terminaison des nervures à l'intérieur du cotylédon.

Il y a deux types principaux à distinguer, suivant que tous les faisceaux et leurs ramuscules se terminent librement, ou qu'un plus ou moins grand nombre d'entre eux s'anastomosent en réseau à leur extrémité.

La terminaison exclusivement libre est la plus rare; on la rencontre chez les Monocotylédones à nervure simple ou double (*Fourcroya Redinghausii*), la plupart des Conifères et dans *Arachis hypogaea*, *Eriobotrya japonica*, *Quercus Mirbeckii*, *Citrus Aurantium* (3), etc. Chez les plantes dicotylédones qui présentent ce caractère, la nervation est toujours palmée et peu riche.

La terminaison anastomosée ne se remarque que dans les espèces à nervation pennée ou palmée. Tantôt il n'y a pas de terminaisons libres à l'intérieur des mailles formées par les anastomoses; on n'en trouve qu'à la périphérie (*Hedera Helix*, *Amygdalus communis* (4), etc.). D'autres fois, et le plus souvent, il y a des terminaisons libres, à la fois à l'intérieur des mailles et vers la périphérie (*Ulmus campestris*, *Acer platanoides*, *Sterculia platanifolia*, *Schotia latifolia*, *Coulterina tinctoria*, *Coffea arabica*, *Casuarina quadrivalvis*, *Laurus tomentosa*, *Æsculus Hippocastanum* (5), etc.).

(1) Pl. 3, fig. 45, et pl. 4, fig. 55.

(2) Pl. 3, fig. 47; pl. 4, fig. 54; pl. 5, fig. 57, 59, 60.

(3) Pl. 3, fig. 42, 45; pl. 4, fig. 51, 54.

(4) Pl. 3, fig. 47, 48.

(5) Pl. 3, fig. 44; pl. 4, fig. 49, 52, 53, 55; pl. 5, fig. 57, 59.

Les nervures se répandent quelquefois au hasard dans toute l'épaisseur du cotylédon (*Æsculus*, *Castanea*, *Caryophyllus*, *Jambosa*, *Simaba*). Dans le plus grand nombre des cas, les nervures se ramifient sur une surface unique, plane chez les cotylédons minces (*Fagus*, *Acer*, etc.), courbe lorsque le cotylédon est épais (*Cerasus*, *Amygdalus*, *Eriobotrya*, *Camphora*, *Ulmus*, *Sapindus*, etc.). La surface sur laquelle s'étend la nervation passe par le centre de l'épaisseur du cotylédon et aboutit de chaque côté à ses bords (pl. 2, fig. 32). Enfin, on rencontre parfois une combinaison de ces dispositions principales. Chez les *Arachis hypogæa*, *Corylus Avellana*, *Anacardium occidentale*, *Schotia latifolia*, les nervures principales cheminent non loin de la face inférieure du cotylédon, sur une surface courbe parallèle à cette face, et émettent par leurs bords supérieurs des ramuscules qui se distribuent dans la portion supérieure du parenchyme (1).

*Relations entre la structure de l'épiderme, du parenchyme
et des nervures.*

On a pu voir dans le résumé ci-dessus de la morphologie des tissus cotylédonaire à l'état de vie latente, qu'il y a lieu de distinguer seulement deux grands groupes d'épidermes : ceux qui portent des stomates, et ceux qui en sont dépourvus. On peut de même ramener les parenchymes à deux formes principales : 1° les parenchymes épais, toujours à structure homogène, et 2° ceux qui appartiennent aux cotylédons minces, souvent recouverts par une couche palissadique. Cette division des cotylédons en deux coupes se retrouve encore si l'on considère à la fois la structure des nervures et leur mode de distribution. Les nervures différenciées appartiennent aux cotylédons purement amyliacés, que nous verrons plus tard être toujours épais. Le mode de ramification à terminaisons libres, sans anastomoses et où les cordons sont peu nombreux, ne se trouve non plus que dans les cotylédons

(1) Pl. 2, fig. 31 ; pl. 3, fig. 46 ; pl. 4, fig. 50.

épais, tandis que la nervation anastomosée, beaucoup plus riche que la précédente, se voit toujours chez les cotylédons foliacés.

De ces faits il résulte qu'il y a une corrélation évidente entre les trois éléments, épiderme, parenchyme, nervation, qui constituent les cotylédons, et que ceux-ci se rangent par la considération de ces rapports en deux grandes classes : 1^o les cotylédons à parenchyme épais et homogène, dont l'épiderme n'a pas produit de stomates, et où la nervation, peu abondante, n'est pas anastomosée (*Arachis*, *Citrus*, *Eriobotrya*, *Quercus*, etc.); 2^o les cotylédons foliacés, où le parenchyme, peu développé, est recouvert par une couche de cellules en palissade, où l'épiderme forme des stomates, et où les nervures, présentant entre elles plus ou moins d'anastomoses, sont très abondamment développées et ressemblent au réseau vasculaire des feuilles ordinaires (*Casuarina*, *Acer*, *Coffea*, *Coultéria*, *Schotia*, *Trigonella*, *Linum*, etc.).

Cette loi, qui se détache certainement de la comparaison d'un grand nombre de cotylédons, est cependant soumise à de fréquentes exceptions. Chez les *Laurus tomentosa*, *Æsculus Hippocastanum*, *Amygdalus communis*, *Phaseolus vulgaris*, etc., les cotylédons, épais, sont parcourus par des nervures anastomosées. Par contre, les cotylédons minces ne possèdent jamais de nervation à terminaison exclusivement libre. Les mêmes faits se reproduisent si l'on considère les stomates; plusieurs cotylédons épais : *Dipteryx odorata*, *Erythrina Crista-jalli*, etc., possèdent quelques stomates; d'autre part, des cotylédons foliacés : *Acer platanoides*, *Bauhinia purpurea*, *Cassia fistula*, *Grevillea robusta*, *Punica Granatum*, etc., peuvent ne pas présenter de ces organes; encore a-t-on le droit de faire remarquer, pour ce dernier cas, que des stomates se développant pendant la germination de ces graines, la règle posée ci-dessus n'est pas infirmée.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique*. — A l'état de repos de la graine, le corps protoplasmique se compose

toujours d'une utricule pariétale mince, logeant en un de ses points le noyau cellulaire. Il arrive souvent que le noyau, masqué par les réserves figurées dont les cellules sont remplies, ne peut être mis en évidence. Mais si l'on considère qu'il se retrouve toujours avant la maturité de la graine et pendant sa germination; qu'il est démontré qu'il ne se forme jamais spontanément aux dépens du protoplasma, mais dérive toujours d'un noyau préexistant, on sera conduit à admettre l'existence du corps protoplasmique, avec les caractères ci-dessus, dans les cellules de tous les cotylédons à état de vie latente.

Corps figurés dérivés du protoplasma. — On ne trouve dans les cotylédons des graines mûres que deux sortes de corps figurés : les grains d'amidon et les grains d'aleurone.

L'amidon existe quelquefois seul (*Castanea vulgaris*, *Laurus tomentosa*, *Quercus*, *Eriobotrya japonica*, *Nelumbium luteum*, *Æsculus Hippocastanum*, *Eugenia axillaris*, *Zizygium jambolanum*, *Jambosa vulgaris*, etc.). Il en est de même de l'aleurone (*Citrus Aurantium*, *Camphora officinarum*, *Casuarina quadrivalvis*, *Hakea saligna*, *Tamarindus indica*, *Arum maculatum*, *Ricinus communis*, *Cercis Siliquastrum*, etc., etc.). Le plus souvent les grains d'amidon et les grains d'aleurone se trouvent mélangés (*Phaseolus vulgaris*, *Arachis hypogæa*, *Sapindus cinereus*, *Sophora secundiflora*, *Lupinus albus*, *Pistacia vera*, *Laurus nobilis*, *Mucuna urens*, etc.).

La forme et la structure des grains d'amidon et des grains d'aleurone ayant été l'objet de nombreux mémoires spéciaux, il est inutile que je m'y arrête ici. Pour les grains d'aleurone, qui peuvent contenir des enclaves de diverse nature, je renvoie au travail de M. Pfeffer (1). Je ferai seulement quelques remarques au sujet de la place qu'occupent ces corps dans la cellule.

On a souvent dit que les organites amylicés ou aleuriques,

(1) Pfeffer, *Untersuchungen über die Proteinkörner* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, VIII, 1872, p. 429).

remplissant entièrement la cellule, sont plongés dans un protoplasma fondamental qui les englobe chacun en particulier. D'après ce que nous avons vu de la disposition du corps protoplasmique, il ne peut en être ainsi, et il n'y a que deux places possibles pour ces corps : ou bien ils sont jetés pêle-mêle et libres de toute adhérence dans la cavité cellulaire, vide de tout autre corps solide, ou bien, n'occupant que le pourtour de la cellule, ils restent fixés à l'utricule primordiale, dans l'épaisseur de laquelle ils ont pris naissance. Ces deux cas, que l'on pouvait prévoir, sont réalisés dans la nature. Les gros grains d'amidon du Maronnier, du Chêne, etc., et les gros grains d'aleurone de l'Arachide, du Ricin, etc., se présentent épars dans la cavité cellulaire, tandis que dans beaucoup de cotylédons à petits grains d'aleurone, tels que ceux de *Schozia*, de *Phaseolus*, d'*Erythrina*, etc., ces corps sont pariétaux, disposés à côté l'un de l'autre, comme des pavés, dans l'utricule protoplasmique. Pour plus de détails sur ce sujet, on devra se reporter au chapitre des descriptions spéciales.

Ce qui précède s'applique aux cellules du parenchyme. Celles des nervures et des épidermes en diffèrent quelquefois quant à leur contenu. Les cordons procambiaux, qui, comme on va le voir, se rencontrent exclusivement chez les cotylédons aleurifères, sont toujours remplis de grains d'aleurone très fins, ressemblant à des granulations. Les épidermes qui recouvrent ces mêmes cotylédons aleurifères ne contiennent que de petits grains d'aleurone, quand bien même le parenchyme renfermerait un mélange de grains d'amidon et de grains d'aleurone (*Arachis hypogaea*). Enfin les cellules épidermiques des cotylédons exclusivement amylières se comportent de différentes façons. Quelquefois elles sont vides de toute formation figurée (*Æsculus Hippocastanum*, *Eriobotrya japonica*). Dans d'autres cas, on y trouve de très petits grains d'amidon. Mais les deux épidermes d'un même cotylédon peuvent différer : ainsi l'épiderme supérieur du *Quercus Mirbeckii* contient de ces petits grains d'amidon, tandis que l'inférieur en est dépourvu.

Relations entre la forme des tissus et la nature du contenu des cellules.

Les trois combinaisons de réserves figurées qui se trouvent dans les cotylédons : amidon, aleurone, amidon et aleurone, ont avec la forme des tissus une certaine corrélation. L'amidon pur, sans mélange d'aleurone, se rencontre exclusivement dans les cotylédons épais et volumineux (*Castanea*, *Quercus*, *Æsculus*, *Eriobotrya*, *Nelumbium*, *Zizygium*, *Kola acuminata*, etc.). Par conséquent, d'après ce qui a été indiqué ci-dessus, l'existence exclusive de l'amidon coïncide avec un parenchyme épais et homogène, un épiderme sans stomates, une nervation peu riche, palmée et sans anastomoses. Nous ajouterons encore que toujours, dans le cas qui nous occupe, les nervures sont différenciées en bois, liber et couche cambiale. Cette loi ne souffre d'exception que pour quelques cas où la nervation est anastomosée (*Æsculus*, *Laurus tomentosa*).

Par contre, les cotylédons minces, foliacés, ne contiennent jamais que de l'aleurone (*Casuarina*, *Grevillea*, *Hakea*, *Acer*, *Linum*, *Cercis*, *Trigonella*, *Poinciana*, *Croton*, *Ricinus*, *Rhamnus*, *Sterculia*, *Anona*, *Convolvulus*, *Hedera*, *Ferula*, etc.). Je n'ai rencontré, faisant exception à cette règle, que le cotylédon d'*Hedysarum sibiricum*, qui, bien que répondant à tous les caractères de structure des cotylédons minces, contient à la fois de l'amidon et de l'aleurone.

Ce sont là les deux seules lois que nous puissions tirer pour le moment de la comparaison des tissus et du contenu des cellules. Si donc on a affaire à un cotylédon épais, dont la réserve figurée ne soit pas purement amylacée, rien ne peut être prévu : les cotylédons épais d'*Amygdalus*, de *Citrus Aurantium*, de *Camphora officinarum*, de *Corylus*, de *Prunus*, de *Latania*, etc., ne contiennent que de l'aleurone ; ceux de *Phaseolus*, d'*Erythrina*, d'*Arachis*, de *Kæltreuteria*, de *Sapindus*, de *Sophora*, de *Pistacia*, d'*Anacardium*, semblables pour

leur trame aux précédents, renferment à la fois de l'amidon et de l'aleurone.

Une troisième loi ayant un caractère assez général ressort encore de l'examen d'un grand nombre de cotylédons. Précédemment, pour ne pas introduire de confusion, nous avons considéré l'ensemble des tissus du cotylédon. Si l'on considère en particulier la structure de la nervure, on trouve : 1^{re} que les cotylédons dont la réserve figurée est purement amylacée ont toujours leurs nervures différenciées en bois, liber et cambium ; 2^{re} que les cotylédons qui contiennent de l'aleurone, soit seule, soit associée à l'amidon, possèdent toujours des nervures à l'état procambial. Cette seconde règle est soumise à quelques exceptions : le cotylédon du *Citrus Aurantium*, à réserve figurée uniquement aleurique, a des trachées au centre de ses nervures ; ceux de *Laurus nobilis* et de *Laurus Camphora*, de *Dipteryx odorata*, de *Semecarpus Anacardium*, où l'on trouve des grains d'amidon et des grains d'aleurone, présentent de même des vaisseaux lignifiés. Sur cent et quelques graines examinées, ce sont les seules qui dérogent à la règle posée ci-dessus.

RÉSUMÉ.

Quant à leur forme, les cotylédons peuvent être divisés en deux grands groupes : les cotylédons épais et les cotylédons minces.

L'épaisseur ou la minceur de cet organe est en corrélation avec sa structure interne. Ainsi les cotylédons épais ont d'habitude le parenchyme homogène, l'épiderme sans stomates, la nervation peu abondante et quelquefois non anastomosée. A la minceur du cotylédon correspondent l'existence d'une couche palissadique à la face supérieure du parenchyme, des stomates plus ou moins complètement développés, et une nervation riche et toujours anastomosée.

L'épaississement des cotylédons est dû à un développement considérable de leur parenchyme en vue de contenir une plus

grande quantité de réserve. Il correspond à l'épaississement des racines, des tiges, des feuilles, connu sous le nom de tuberculisation. Je propose donc de donner l'épithète de *tuberculeux* aux cotylédons épais. Les cotylédons minces se comportent, sur la fin de la germination, ainsi qu'on le verra plus tard, comme de véritables feuilles. Non-seulement ils montrent la structure de ces organes, mais encore assimilent comme eux, par leurs grains de chlorophylle, le carbone de l'atmosphère. Je les appellerai donc dans la suite cotylédons *foliacés*.

Le contenu figuré des cellules est, ou bien de l'amidon, ou bien de l'aleurone, ou enfin le mélange de ces deux substances.

Entre la nature du contenu cellulaire et la forme du cotylédon, il existe quelques relations constantes. Les cotylédons foliacés ne renferment en général que de l'aleurone. Parmi les cotylédons tuberculeux, les uns sont remplis exclusivement d'amidon et présentent toujours des nervures différenciées; les autres contiennent, soit de l'aleurone pure, soit un mélange de cette substance avec l'amidon. Les cotylédons qui contiennent de l'aleurone, sauf de rares exceptions, ont les nervures à l'état de procambium.

Nature des réserves figurées fournies par les cotylédons.

L'emmagasinement des substances qui doivent servir aux premiers développements de l'embryon étant le rôle essentiel des cotylédons, l'indication des différentes matières de réserve que ces organes contiennent doit former le résumé le plus condensé de ce qui vient d'en être dit.

Les réserves cotylédonaires peuvent être déposées sur la paroi ou dans la cavité cellulaire. On a vu que les cotylédons de *Schotia latifolia*, *Tamarindus indica*, *Mucuna urens*, etc., ont les membranes épaissies par une couche considérable de granulose. Dans le Marronnier, le Haricot, le Lupin, etc., les membranes, épaisses et cellulosiques, s'amincissent pendant la germination; elles constituent par conséquent une réserve de

cellulose. A l'intérieur des cellules, on trouve de l'amidon et de l'aleurone, toujours sous forme de grains, et enfin de l'huile grasse.

La granulose, la cellulose, l'amidon, l'aleurone et l'huile sont donc les principales substances organiques mises en réserve dans le cotylédon.

Toutefois l'amidon, l'huile et l'aleurone sont les plus fréquentes ; la cellulose et encore plus la granulose ne se rencontrent qu'exceptionnellement.

Albumen.

Étudions maintenant l'albumen, en suivant la même marche que pour le cotylédon ; les résultats qui découleront de cet examen seront ensuite comparés aux précédents.

L'albumen, en raison de la plus grande simplicité de sa structure, est beaucoup mieux connu que le cotylédon, et j'aurai peu de chose à ajouter à ce qui en est dit dans les ouvrages classiques.

TISSUS. — L'albumen est formé d'une masse parenchymateuse dont l'épaisseur varie depuis celle d'une pellicule mince (*Amygdalus communis*, *Juglans regia*, *Corylus Avellana*) jusqu'à plusieurs centimètres (*Myristica moschata*, *Cocos nucifera*, *Phytelephas macrocarpus*, etc.). Le plus souvent il a de 2 à 5 millimètres d'épaisseur. Dans les premiers de ces albumens, il n'y a qu'une seule assise de cellules ; dans les autres, le nombre en est indéfini.

Par suite du mode de formation de l'albumen, ses cellules sont souvent superposées en direction radiale. Ainsi que M. Sachs l'a déjà reconnu, elles ne laissent jamais entre elles le plus petit méat ; cependant chez le Ricin, contrairement aux observations de cet anatomiste, j'en ai trouvé de très petits. Elles ont les parois planes, et prennent la forme de prismes dirigés radialement (*Latania*, *Sterculia*) ; d'autres fois elles sont tout à fait irrégulières (*Coulteria*, *Trigonella*, etc.

(pl. 3, fig. 35); enfin, dans le Ricin, elles deviennent globuleuses.

Les membranes présentent tous les degrés d'épaississement; et, sous ce rapport, les différents albumens peuvent être répartis en trois groupes principaux : 1° Ceux à membranes tout à fait minces (*Sterculia platanifolia*, *Ricinus communis*, toutes les Euphorbiacées et les Conifères, le Maïs, l'*Arum*, etc.). Les uns contiennent de l'aleurone et de l'huile, et sont dits *oléagineux* ou *charnus*; les autres sont entièrement remplis d'amidon, et sont dits *amylacés*. 2° Ceux dont les membranes sont suffisamment épaisses pour communiquer au tissu une grande dureté, tout en conservant un lumen assez grand. Les albumens des Palmiers, des Liliacées, de la Noix vomique, de la Fève de Saint-Ignace, du Café, etc., en sont des exemples bien connus. Entre ces deux groupes, tous les intermédiaires se rencontrent : le Cerisier, le Lin, les Ombellifères, le *Lierre*, les Oléinées, présentent tous les passages entre les albumens à parois minces et ceux à membranes épaisses. 3° Dans la dernière catégorie, les parois se sont tellement épaissies, que toute trace de cavité a disparu; l'albumen sec, examiné dans l'alcool, forme une masse homogène et comme anhiste (*Trigonella Fœnum-græcum*). Les deux derniers groupes sont désignés sous le nom d'albumens *cornés*.

Presque toujours les parois de l'albumen se composent de cellulose. Chez plusieurs Légumineuses (*Cercis Siliquastrum*, *Trigonella*, *Gleditschia triacanthos*, *Poinciana Gilliesii*, *Coultéria tinctoria*, etc.), la paroi épaisse est formée en grande partie d'une substance gélifiée. Les albumens du *Strychnos Nux-vomica* et de l'*Ignatia amara* sont composés d'une cellulose qui se gonfle dans l'eau comme le mucilage. Enfin chez le *Sideroxylon atrovirens*, j'ai trouvé les membranes de l'albumen formées de granulose, comme dans le cotylédon du *Schotia latifolia*.

Le tissu parenchymateux qui vient d'être décrit forme le plus souvent toute la masse de l'albumen; quelquefois cependant il est recouvert vers l'extérieur par une assise de cellules

dont la forme, se rapprochant de celle des cellules épidermiques, diffère totalement de celle des éléments de l'intérieur de l'organe. Chez la Trigonelle et le Maïs, ces cellules, à parois assez épaisses, présentent une forme sensiblement cubique (pl. 3, fig. 35). Chez le Latanier, elles sont aplaties en table et très allongées (pl. 2, fig. 21). Chez le *Styrax officinalis*, elles s'épaississent en U vers leur face externe. Enfin, à la face interne de l'albumen, appliquée contre le cotylédon, il existe toujours une couche mince, feuilletée, formée par les parois amincies et appliquées les unes contre les autres des cellules de l'albumen détruites par l'accroissement de l'embryon.

CONTENU CELLULAIRE. — Le corps protoplasmique consiste, comme chez le cotylédon, en une couche pariétale de protoplasma, logeant en un de ses points le noyau. Je dois dire, cependant, que, dans bien des cas, sans doute à cause de la réduction de la cavité cellulaire, et des enclaves qu'elle contient, il m'a été impossible de voir ce dernier corps.

Le contenu des cellules de l'albumen est de l'amidon pur (Graminées, *Arum*) ou de l'aleurone pure; jamais le mélange des deux. Les albumens aleuriques se rencontrent le plus fréquemment; il est inutile d'en citer des exemples.

Relations entre la forme des tissus et la nature du contenu cellulaire.

Elles sont fort simples. Les albumens amylacés ont toujours les parois minces; chez les autres, elles peuvent prendre tous les degrés d'épaississement. Il n'y a donc pas de différence essentielle entre l'albumen corné du Dattier et l'albumen charnu du Ricin; d'ailleurs il existe, comme on l'a déjà vu, une foule de transitions entre ces deux types.

Relations entre les cotylédons et l'albumen.

Les cotylédons qui renferment de l'amidon, soit seul, soit mélangé à l'aleurone, sont privés d'albumen. Ceux, même

épais, qui contiennent de l'aleurone pure (*Amygdalus*, *Armeniaca*, *Prunus*, *Corylus*, *Juglans*, *Carya*, etc.), peuvent posséder un albumen. Cependant ces cotylédons sont peu nombreux, et leur albumen n'est que peu développé. D'autre part, les embryons à cotylédons foliacés ne sont pas nécessairement pourvus d'albumen; les graines d'*Hedysarum sibiricum*, *Casuarina quadrivalvis*, *Grevillea robusta*, *Hakea saligna*, *Acer*, de toutes les Composées, Cucurbitacées, Crucifères, etc., en sont des exemples.

Nature des réserves fournies par l'albumen.

Les réserves à l'état précipité peuvent être déposées sur la paroi ou dans la cavité cellulaire. Les membranes des albumens cornés sont des réservoirs de cellulose ou de mucilage; les membranes peuvent être aussi formées de granulose. A l'intérieur des cellules, on trouve de l'amidon et de l'aleurone, toujours sous forme de grains, et de l'huile.

La cellulose, le mucilage, l'amidon, l'aleurone, l'huile et la granulose sont donc les substances organiques mises en réserve dans l'albumen.

Ces substances diffèrent de celles signalées dans le cotylédon, en ce que le mucilage est assez fréquent chez l'albumen et ne se trouve jamais chez le cotylédon.

Les deux tableaux suivants résument les généralités exposées ci-dessus.

GRAINES EXALBUMINÉES.

1. COTYLÉDONS TUBERCULEUX (1).	Réserve figurée purement amy-lacée. Nervures différen-ciées en bois et liber.	Amidon pur.....	Castanea vulgaris. — Quercus po-dunculata. — Quercus Mirbeckii. — Laurus tomentosa. — Kola acuminata. — Caryophyllus aro-maticus. — Eugenia axillaris. — Jambosa vulgaris. — Zizygium jambolanum. — Eriobotrya japo-nica. — Simaba Cedron. — Nelumbium luteum. — Apono-geton distachyus. — Paullinia sorbilis.	
		Amidon et huile.....	Æsculus Hippocastanum.	
	Cotylédons con-tenant de l'a-leurone. Nervures à l'état procambial.	Membranes cel-lulaires cellu-losiques.	Aleurone et huile.	Citrus Aurantium. — Bassia Parkii. — Laurus Camphora. — Ulmus campestris. — Lupinus albus. — Camellia japonica.
			Aleurone et amidon.	Dolichos pruriens. — Physostigma venenosum. — Phaseolus vulga-ris. — Ervum Lens. — Erythrina Crista-galli. — Mimosa scandens. Vicia sepium.
		Membranes cel-lulaires for-mées de gra-nulose.	Aleurone, amidon et huile.	Arachis hypogæa. — Sophora secundiflora. — Dipteryx odorata. — Kœlreuteria paniculata. — Sa-pindus cinereus. — Pistacia vera. — Laurus nobilis. — Anacardium occidentale. — Semecarpus Ana-cardium. — Theobroma Cacao.
			Aleurone et huile.	Schotia latifolia. — Tamarindus indica. — Balsamina hortensis. Tropæolum majus.
2. COTYLÉDONS FOLIACÉS.	Réserve figurée en général exclusivement aleurique. Nervures à l'état procambial.	Aleurone et huile.	Mucuna urens.	
		Aleurone et amidon.....	Casuarina quadrivalvis. — Grevil-lea robusta. — Hakeas aligna. — Acer platanoides. — Punica Granatum. — Crepis sibirica. — Tagetes stricta. — Cucurbita Pepo. — Isatis tinctoria. — Ge-ranium palustre. Hedysarum sibiricum.	

(1) Quelques cotylédons présentent à la maturité des caractères intermédiaires à ceux des cotylédons tuberculeux et des foliacés. J'ai classé ces cotylédons d'après le rôle qu'ils jouent pendant la germination. Ceux qui constituent un simple réservoir de substance nutritive ont été placés parmi les cotylédons tuberculeux; ceux au contraire qui forment des grains de chlorophylle et assimilent le carbone sont rangés parmi les cotylédons foliacés.

GRAINES ALBUMINÉES.

Les cotylédons contiennent toujours de l'aleurone; les nervures sont toujours à l'état procambial.

1. COTYLÉDONS TUBERCU- LEUX. Réserve composée de :	Aleurone pure.....	Albumen farineux.	Arum italicum.
	Aleurone et huile	Albumen de même nature.	Amygdalus communis. — Armeni- ca sativa. — Prunus domestica. Prunus Cerasus. — Corylus Avel- lana. — Juglans regia. — Pirus communis.
	Aleurone, amidon et huile	Albumen corné cel- lulosique.	Latania borbonica. — Phoenix dac- tylifera. — Phytalephas macro- carpus.
		Albumen farineux.	Zea Mays.
2. COTYLÉDONS FOLIACÉS.	Aleurone pure..	Albumen à membranes gélifiées.	Cercis Siliquastrum. — Trigonella Fœnum-græcum. — Gleditschia triacanthos. — Poinciana Gillie- sii. — Coulteria tinctoria. — Bauhinia purpurea.
	Membranes cellulosiques. Réserve composée de :	Albumen de même nature que le cotylé- don.	Croton Tiglium. — Ricinus com- munis. — Styrax officinalis. — Cedrus Libani. — Pinus halepen- sis. — Rhamnus Alaternus. — Euphorbia Lagassæ. — Scutel- laria micrantha. — Solanum atropurpureum. — Ailantus glandulosa. — Melia Azedarach. — Evonymus europæus. — Anamirta Cocculus. — Berberis vulgaris. — Ruta graveolens. — Viola odorata.
	Aleurone et d'huile.	Albumen farineux.	Sterculia platanifolia. — Mirabilis longiflora. — Saponaria officina- lis.
	Membranes for- mées de granu- lose.	Albumen corné cel- lulosique.	Anona Cherimolia. — Convolvulus althæoides. — Hedera Helix. — Ferula communis. — Coriandrum sativum. — Ignatia amara. — Strychnos Nux-vomica. — Aspho- delus microcarpus. — Asparagus maritimus. — Delphinium Sta- phisagria. — Magnolia grandiflora. — Diospyros pubescens. — Billardiera fusiformis. — Fraxi- nus excelsior.
		Membra- nes de l'albumen formées de granulose. Albumen à membranes gélifiées.	Sideroxylon atrovirens.
		Albumen de même nature que le cotylédon.	Cassia fistula.
			Linum usitatissimum. — Sesamum indicum.

Ils nous font voir que dans les graines exalbuminées les cotylédons ne renferment jamais exclusivement de l'aleurone ; toujours cette substance est additionnée d'amidon ou d'huile. L'amidon, par contre, peut se trouver seul dans les cotylédons de ces graines. Donc les cotylédons des embryons sans albumen ne contiennent pas de réserve quaternaire seule ; toujours elle y est accompagnée de substance ternaire ; celle-ci au contraire peut exister seule.

Dans les graines albuminées, les cotylédons ne contiennent pas d'amidon ; mais alors la substance ternaire est fournie par l'albumen, sous forme d'amidon, de cellulose, de granulose, d'huile ou de mucilage. Ici encore, par conséquent, la réserve quaternaire n'existe jamais seule. Mais à l'encontre de ce qui a lieu chez les graines sans albumen, la matière ternaire ne se trouve jamais non plus seule.

Ces tableaux montrent encore, autant que le nombre des espèces qui y sont étudiées le permet, que dans une même famille végétale, la nature de l'amande est constante. On y constate la même forme de cotylédons tuberculeux ou foliacés, le même contenu cellulaire et le même albumen. Quelques familles, parmi lesquelles celle des Légumineuses, font exception. Mais cette constance de la composition histologique et chimique de l'amande ne s'étend pas au delà de la famille ; elle ne correspond à aucun des grands groupes admis dans les différentes classifications.

DÉVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE.

Cotylédons.

Tissus. — *Épiderme*. — Dans les plus jeunes cotylédons que j'aie pu examiner, les épidermes présentent une forme semblable sur les deux faces ; ils sont composés de cellules tabulaires à membranes minces, celluloseuses, et à parois radiales planes ; de sorte que les cellules, vues de face, figurent de petits polygones à côtés rectilignes. J'ai toujours trouvé les épidermes, même très jeunes, recouverts d'une mince cuticule.

Pendant le développement de la graine, les cellules épidermiques se multiplient; elles peuvent se déformer, épaissir leurs membranes et donner naissance à des stomates. Étudions ces phénomènes.

La multiplication des cellules épidermiques a lieu dans toute l'étendue du tissu; elle est donc diffuse et non localisée. Les parois nouvelles prennent toutes les directions. La division s'arrête à des moments différents du développement, selon la nature du cotylédon considéré. Dans celui du *Coulteria* et dans ceux qui, comme lui, sont foliacés et contiennent, à la maturité, de l'aleurone (*Acer*, *Trigonella*, *Hedysarum*, *Linum*, etc.), elle se continue jusqu'à l'état adulte, à un moment, qui sera plus tard fixé, où disparaît l'amidon primaire et où naît l'aleurone. Chez les cotylédons épais et amylacés, comme celui du Marronnier, la prolifération des cellules épidermiques cesse de bonne heure, alors que le cotylédon est loin d'avoir atteint ses dimensions définitives. L'extension de l'épiderme se produit dès lors uniquement par l'agrandissement des cellules.

Je n'ai trouvé de cellules épidermiques notablement épaissies que dans le cotylédon du Marronnier.

Les stomates ne peuvent se former que lorsque les cellules épidermiques sont en état de division; dès que cet état cesse, la production des stomates est arrêtée et ils peuvent être surpris par la maturité, comme on l'a déjà vu, à différentes phases de leur développement. J'ai étudié la formation des stomates sur les cotylédons de *Trigonella Fœnum-græcum*, de *Coulteria tinctoria*, d'*Hedysarum sibiricum* et de *Linum usitatissimum*.

Dans les trois premières de ces plantes, les cellules épidermiques sont disposées irrégulièrement; quelques-unes de ces cellules se divisent en cellules filles inégales, par une cloison d'abord plane, qui devient ensuite courbe. La plus petite des cellules filles, qui sera la cellule mère du stomate, est toujours située à l'un des angles de la cellule épidermique primitive, et est, par conséquent, triangulaire (pl. 1, fig. 13, 14). Cette cellule se divise en deux par une cloison à direction indé-

terminée, et ces deux cellules donnent, à la suite de modifications convenables, les cellules de bordure du stomate.

Les cellules épidermiques de la graine de Lin sont rangées en séries longitudinales; quelques-unes d'entre elles se divisent en deux cellules inégales, dont la plus petite, située comme ci-dessus, à l'un des angles et à la partie supérieure de la cellule, est l'initiale du stomate (pl. 1, fig. 11). Mais, ainsi qu'il arrive dans les cas cités plus haut, elle n'en est pas la cellule mère; elle se divise en trois cellules par des cloisons parallèles et placées dans la direction des séries de cellules épidermiques. L'ensemble de ces trois cellules est donc, au contraire, perpendiculaire à ces mêmes séries; les cellules extrêmes sont des cellules annexes, et les deux parois qui les forment paraissent naître en même temps; la cellule centrale est la cellule mère du stomate, elle se divisera par une nouvelle cloison et donnera les cellules de bordure (pl. 1, fig. 12).

Ces deux modes de formation du stomate ont été signalés chez les feuilles ordinaires.

Parenchyme. — Au début de son existence, le cotylédon se compose de cellules à parois excessivement minces, celluloseuses, présentant la forme de polyèdres assez réguliers, et ne laissant entre elles que de très petits méats. Ces éléments, semblables dans toute l'épaisseur du parenchyme, sont souvent rangés par couches tangentielles; au début, le parenchyme est donc homogène, muriforme.

Pendant le développement du cotylédon, les cellules parenchymateuses s'agrandissent, se multiplient, épaississent leurs parois et se différencient souvent entre elles, de façon à rendre le parenchyme hétérogène. Voyons à quel moment ces modifications se produisent.

Il faut distinguer deux cas, selon que le cotylédon est foliacé, ou qu'il est tuberculeux.

Dans les cotylédons foliacés, dont les parois restent presque toujours minces, la différenciation des cellules en couche palissadique et en parenchyme irrégulier se produit d'assez bonne heure. La multiplication des cellules persiste long-

temps et dure jusqu'au moment de l'apparition des grains d'aleurone. Enfin, les cellules ne cessent de s'agrandir pendant toute la période du développement. Cet accroissement, assez faible tant que les cellules se multiplient, devient ensuite très actif, principalement dans le sens de l'épaisseur, et c'est à lui seul qu'est due l'augmentation de volume considérable qu'éprouve le cotylédon vers la fin de son développement. Comme on devait s'y attendre, la multiplication des cellules est beaucoup plus active dans le sens de la surface du cotylédon que dans le sens de l'épaisseur. L'activité est égale selon la longueur et la largeur, de sorte que l'élargissement et l'allongement du cotylédon sont dans le même rapport. Je me bornerai ici à ces indications sommaires, renvoyant pour plus de détail à l'histoire particulière du cotylédon de *Coultetia tinctoria*.

Les cotylédons tuberculeux offrent un mode d'évolution beaucoup plus simple; ceux du Marronnier en fournissent un exemple. Ici, le parenchyme étant homogène, il n'y a à s'occuper que de l'agrandissement, de la multiplication et de l'épaississement des cellules. La multiplication des cellules cesse de bonne heure, et c'est là une différence notable avec les cotylédons foliacés; le cotylédon est bien loin de sa grandeur définitive, lorsque ses cellules deviennent inaptes à se multiplier. L'accroissement considérable que prend ensuite l'organe doit donc être attribué uniquement à l'agrandissement des cellules existantes. Le volume du cotylédon étant ici produit par l'extension des cellules, tandis que précédemment il est dû à leur division souvent répétée, on voit pourquoi les cotylédons épais sont composés de cellules beaucoup plus grandes que celles des cotylédons minces.

L'épaississement des parois coïncide avec l'apparition des premiers grains d'amidon.

De ces faits on peut tirer cette conclusion que la multiplication des cellules épidermiques et celle des cellules du parenchyme cessent en même temps.

Le développement du cotylédon de *Schotia latifolia*, qui se range, d'après la plupart de ses caractères, parmi les cotylé-

dons minces, présente une particularité. La multiplication des cellules s'arrête de bonne heure, et par là il se rapproche des cotylédons épais. On a vu plus haut que cette apparente irrégularité est la conséquence nécessaire du degré considérable d'épaississement qu'acquièrent ses parois. Cet épaississement, qui met fin à la division des cellules, commence en effet avec la production des premiers grains d'amidon.

Nervation. — Il faut étudier le développement du réseau vasculaire et ensuite le mode de perfectionnement de la nervure.

Même dans les plus jeunes cotylédons que j'aie rencontrés, il y avait toujours au moins une nervure, la médiane qui avait pris naissance. La formation du réseau a lieu, en général, ensuite d'après les lois suivantes : à partir de la nervure médiane, qui d'abord n'atteint pas le sommet du cotylédon, les nervures principales latérales se produisent en allant de la nervure médiane vers les bords du cotylédon. D'abord très courtes, elles s'étendent ensuite vers le sommet du cotylédon. Le centre de la formation des nervures est donc le point d'insertion du cotylédon sur son pétiole ; de là la production s'étend sur les côtés et vers le haut. Une fois les nervures principales formées, les autres naissent sur toute la surface du cotylédon d'après l'ordre de leur importance. Comme les nervures secondaires peuvent affecter toutes les directions possibles, il en résulte qu'une fois les nervures principales formées, la production des plus petites a lieu d'une façon diffuse.

Quant à la différenciation du cordon primitif, voici ce que l'on observe. Chez les cotylédons qui ne contiennent, à leur maturité que de l'amidon : *Quercus*, *Castanea*, etc., le cordon procambial se différencie de très bonne heure, aussitôt qu'apparaissent les premiers grains d'amidon. Cette différenciation du cordon en bois, liber et cambium, n'a rien du reste en elle-même qui puisse nous arrêter. Dans tous les autres cotylédons, ceux qui par conséquent contiennent de l'aleurone, le cordon reste, sauf les quelques exceptions citées plus haut, à l'état procambial.

CONTENU CELLULAIRE. — Corps protoplasmique. — Les cotylédons les plus jeunes ont leurs cellules remplies de protoplasma massif, grossièrement granuleux, enfermant en son centre un noyau volumineux muni d'un nucléole. Peu après, alors que les cellules s'agrandissent et se multiplient, des vacuoles se creusent dans cette masse compacte de protoplasma. Les vacuoles s'accroissent, et bientôt la disposition du corps protoplasmique se trouve entièrement modifiée. Il se compose actuellement d'une couche pariétale et d'un noyau central, reliés par des filaments rayonnants et très grêles de substance plasmatique. Enfin ces filaments disparaissent, et on ne trouve plus dans la cellule qu'un enduit mince qui tapisse la paroi, l'utricule primordiale. Le noyau est aussi devenu pariétal et se loge dans l'épaisseur de l'utricule, quelque peu renflée à cet endroit. Le corps protoplasmique conservera cette forme pendant tout le reste de l'existence du cotylédon; nous l'avons indiquée à la maturité et nous la retrouverons pendant la germination.

Les dispositions que prend le protoplasma pendant les états successifs de la vie d'une cellule cotylédonnaire ne diffèrent donc pas de celles qui ont été signalées dans les éléments des autres organes.

Dérivés du protoplasma. — Nous allons d'abord examiner quels sont les différents organites qui prennent naissance dans le cotylédon pendant sa vie intra-ovarienne, en indiquant l'ordre suivant lequel ils apparaissent; puis nous dirons un mot du mode de formation de chacun de ces corps.

Sous le rapport de la nature des substances figurées qui prennent naissance dans leurs cellules, pendant la période de formation, les cotylédons se divisent en deux grands groupes correspondant à ceux qui ont été établis à l'état de maturité de la graine. Il y a des cotylédons où il ne naît que de l'amidon; ce sont ceux qui ne contiennent non plus que cette substance à l'état de vie latente (*Quercus*, *Castanea*, *Æsculus*, etc.). Les autres, ceux qui forment de l'aleurone, doivent être divisés en trois sous-groupes : 1° les uns ne contiennent

jamais que des grains d'aleurone (*Prunus Cerasus*, *Acer platanoides*, *Linum usitatissimum*, *Corylus Avellana*, etc.); 2° chez d'autres, il se produit, avant la naissance des grains d'aleurone, des grains d'amidon qui disparaissent avant la maturité de la graine (*Schotia latifolia*, *Trigonella Fœnum-græcum*, *Coulteria tinctoria*, etc.); 3° enfin il arrive souvent que les grains d'amidon persistent et se trouvent mêlés dans la graine mûre aux grains d'aleurone; ce cas me paraît le plus fréquent (*Arachis hypogæa*, *Kalreuteria paniculata*, *Sophora secundiflora*, *Lupinus albus*, *Phaseolus vulgaris*, *Pistacia vera*, *Anacardium occidentale*, *Semecarpus Anacardium*, *Laurus nobilis*, *Mucuna urens*, etc.).

Lorsqu'il ne se produit que de l'amidon dans les cellules du cotylédon, cette substance apparaît de très bonne heure, à peu près vers la fin de l'existence des filaments rayonnants; la plus grande partie de cette substance se forme alors que le protoplasma est devenu tout à fait pariétal; les cellules sont donc en état de multiplication et d'agrandissement très actif. J'ai observé que les grains d'amidon naissent toujours dans l'épaisseur du protoplasma, et sont produits, ainsi que l'a découvert M. Schimper, par des leucites incolores; je ne m'arrêterai pas aux détails de cette formation, qui a fait le sujet d'un mémoire récent de cet habile observateur (1). J'ai montré, dans l'étude du développement des cotylédons du Marronnier d'Inde, que les grains d'amidon naissent disséminés et assez éloignés l'un de l'autre dans l'épaisseur de l'utricule pariétale; qu'il ne naît pas de ces grains pendant toute la période de formation du cotylédon, mais qu'ils se produisent tous ensemble à peu près au même moment. En s'agrandissant, ils déchirent la mince couche de protoplasma qui les recouvrait et n'adhèrent donc plus au protoplasma que par leur face externe par rapport à la cellule; du côté de la cavité ils sont libres. Leur accroissement les amène bientôt à

(1) W. Schimper, *Untersuchungen über die Entstehung der Stärkekörner* (Bot. Zeit., t. XXXVIII, 1880, p. 881).

se toucher ; alors quelques-uns d'entre eux, trop pressés par leurs voisins, se détachent de l'utricule et tombent dans la cavité cellulaire ; les autres peuvent de nouveau s'accroître, et, lorsqu'ils viennent eux aussi à se toucher, se comportent comme les précédents. Ainsi la cellule se remplit peu à peu de grains d'amidon de tailles différentes.

Dans les cotylédons où il se produit de l'amidon et de l'aleurone, la première substance apparaît d'abord d'après la règle qui vient d'être indiquée. Lorsque les grains d'amidon sont arrivés à leur maximum de grandeur, naissent seulement les grains d'aleurone. Si les grains d'amidon doivent disparaître, ils se dissolvent peu à peu, également sur toute leur surface ; ils évoluent donc dès maintenant inversement des grains d'aleurone. Si les grains d'amidon persistent, les grains d'aleurone naissent entre eux sans que rien soit changé à leur mode de formation.

Je m'arrêterai un peu sur le mode de formation des grains d'aleurone. M. Pfeffer (1) ne nous fournit sur la naissance de la masse fondamentale que des données assez vagues. Il s'exprime à peu près en ces termes : « Lorsque la semence a atteint environ la moitié de sa grosseur et renferme encore beaucoup d'eau, le contenu des cellules se trouble par l'apparition dans le suc cellulaire d'une substance albuminoïde en très fins granules. Le trouble devient tellement considérable, qu'il est impossible d'apercevoir le noyau cellulaire. Puis il apparaît dans le contenu cellulaire trouble, des masses plus ou moins sphériques, composées de substance protéique dans lesquelles on remarque habituellement des enclaves cristallines. Ces jeunes grains d'aleurone s'accroissent pendant qu'en même temps il en naît de nouveaux, et la cellule arrive à ressembler à celle de la graine mûre. »

D'après ce que j'ai observé, il y aurait deux modes principaux de formation des grains d'aleurone : la formation en

(1) Pfeffer, *Untersuchungen über die Proteinkörner* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, VIII, 1872, p. 429).

masse, et la formation par bâtonnets, chacune comprenant deux subdivisions, suivant que le grain d'aleurone est homogène ou renferme des enclaves.

Mais il faut d'abord dire que les grains d'aleurone naissent à la périphérie de la cellule contre l'utricule protoplasmique. Les réactions de ces grains étant les mêmes que celles du protoplasma, il ne m'a pas été possible de décider si, comme cela arrive pour les grains d'amidon, ces corps sont enveloppés de toutes parts par le protoplasma, ou s'ils lui adhèrent seulement par une de leurs faces.

La naissance en masse des grains d'aleurone est très simple. Si le grain est homogène, il se produit à la surface de l'utricule de petits corps paraissant aplatis, circulaires, qui ne se distinguent d'abord que difficilement du protoplasma ambiant, et qui, à mesure que la graine mûrit, prennent une épaisseur plus grande et par suite un contour plus net, pour enfin arriver à la forme du grain d'aleurone adulte. Le début de l'existence du grain d'aleurone est, dans ce cas, difficile à saisir; il consiste en effet en une sorte d'élévure, de renflement de l'utricule ayant les bords aplatis; or ce renflement encore faible, d'autant plus qu'il est de même nature chimique que le corps sur lequel il se produit, ne peut s'apercevoir; ce n'est que lorsqu'il a acquis une certaine épaisseur et fait assez fortement saillie sur la couche pariétale protoplasmique, qu'il devient visible. J'ai rencontré ce mode de naissance chez le cotylédon de *Coultéria tinctoria*.

Quand le grain d'aleurone renferme des enclaves, celles-ci se forment d'abord, et c'est autour que naît la masse fondamentale du grain d'aleurone, de la manière qui a été indiquée ci-dessus. Dans le cas où les corps inclus sont multiples, un globoïde et un cristalloïde par exemple, ils naissent à côté l'un de l'autre avec leurs caractères distinctifs; ils grandissent tous deux ensemble, et c'est seulement quand ils ont acquis leur taille définitive que la substance fondamentale du grain d'aleurone se produisant, comme ci-dessus, entre eux et autour d'eux, les englobe et constitue ainsi le grain d'aleurone

complet. M. Pfeffer a donné dans le mémoire, cité plus haut, une bonne figure de ce mode de formation à propos des grains aleuriques de l'albumen du Ricin (pl. 37, fig. 12); je l'ai observé très nettement dans les cotylédons du Lin.

La formation des grains par bâtonnets a lieu de la façon suivante. Il apparaît dans la couche pariétale de protoplasma de petits bâtonnets incolores, très réfringents, montrant les réactions des matières albuminoïdes. Quelques-uns de ces corps sont très courts et paraissent rectilignes (pl. 6, fig. 67, *a*); d'autres plus longs sont toujours courbés (fig. 67, *b*, *c*). Ces bâtonnets se montrent, dans les cotylédons qui forment de l'amidon pendant leur jeunesse, entre les grains d'amidon (pl. 6, fig. 63 et 64). A partir de ce premier stade il peut arriver deux choses. Bientôt on voit que ces formations ne sont plus isolées, mais se groupent de manière à esquisser une circonférence (pl. 6, fig. 67, *f*, *g*, *h*); puis elles se réunissent et forment par conséquent une circonférence non interrompue (pl. 6, fig. 67, *i*). A ce moment l'amidon transitoire a disparu des cellules et ne gêne pas l'établissement de ces formations; les anneaux se touchent et ils recouvrent entièrement, tangents l'un à l'autre extérieurement, la surface de l'utricule protoplasmique (pl. 6, fig. 65). Ils s'épaississent ensuite vers l'intérieur, réduisant de plus en plus leur ouverture, si bien qu'au bout de peu de temps, celle-ci a entièrement disparu et le corps annulaire est devenu un corps massif qui est le grain d'aleurone (pl. 6, fig. 66). L'épaississement n'a pas toujours lieu également sur toute l'étendue de l'anneau; il prédomine souvent en quelque endroit, et l'ouverture se place excentriquement (même figure). On remarque aussi qu'à l'endroit du plus grand épaississement, le bord du grain en formation fait saillie vers le dehors, en sorte que la forme exactement circulaire observée au commencement du processus se change en une forme irrégulièrement ovoïde, que conservera le grain d'aleurone complètement développé.

Le bâtonnet initial peut suivre une autre marche; il reste isolé, ne s'associe pas à d'autres pour former une circonfé-

rence; pour arriver au grain d'aleurone il s'épaissit à son centre plus qu'à ses extrémités, et devient un croissant (p. 6, fig. 68, *a*, *b*). L'épaississement continuant, le croissant présente bientôt la figure d'un demi-cercle (pl. 6, fig. 68, *d*), et le côté plan de celui-ci devenant ensuite convexe, on passe à un corps globuleux qui est le grain d'aleurone. Ce procédé de formation des grains d'aleurone n'est qu'une variante du précédent.

Les grains d'aleurone qui naissent par bâtonnets ne contiennent, au moins dans les cas que j'ai observés, que des enclaves simples qui sont des cristaux d'oxalate de chaux. Dans l'Érable plane et dans le Cerisier, on remarque dans chaque cellule, parmi des cristaux simples plus petits, une macle sphérique volumineuse, à structure radiée. Le grain d'aleurone qui se forme autour d'elle et qui la renferme est de grande dimension et se présente comme un solitaire. J'ai pu suivre pas à pas la formation de ce grain volumineux. Comme toujours, l'enclave naît d'abord, puis on voit près d'elle un bâtonnet relativement long, courbé, et placé de façon à contenir le cristal dans sa concavité (pl. 6, fig. 71, *a*); les deux corps ne se touchent pas encore. Le bâtonnet s'agrandit, en même temps que par sa partie moyenne il s'épaissit; de la sorte, il entoure déjà plus complètement le cristal et se rapproche de lui sans le toucher cependant (*b*). Ces deux phénomènes : accroissement des cornes du bâtonnet et épaississement de sa partie centrale, continuant, le cristal adhère d'abord au croissant par son côté concave, puis est complètement englobé par lui (*c*). L'enclave est placée excentriquement dans la masse fondamentale du grain d'aleurone; elle est donc recouverte, d'un côté, par un enduit mince qui correspond au lieu de fermeture des pointes du croissant; de l'autre, par un dépôt considérable de matière protéique, qui représente la partie centrale toujours épaisse du bâtonnet.

En résumé, il y aurait donc deux modes de formation des grains d'aleurone; dans l'un, le grain naît tout d'une pièce à la surface de l'utricule; dans l'autre, la partie externe du grain

d'aleurone apparaît d'abord sous forme de bâtonnets qui n'ont plus qu'à s'épaissir pour constituer le grain d'aleurone. Chacun de ces modes de naissance peut se trouver isolé dans un même cotylédon; le premier s'observe exclusivement chez le *Coulteria tinctoria*, le second chez le Fenu-grec. Le plus fréquemment on les rencontre ensemble (*Acer platanoides*, *Prunus Cerasus*, *Schotia latifolia*).

Quelques cotylédons (*Schotia*, *Erythrina*, *Phaseolus*, etc.) présentent, à l'état de maturité, une particularité assez intéressante, déjà signalée. Si l'on place pendant quelque temps des coupes microscopiques de ces cotylédons dans un liquide capable de dissoudre leurs grains d'aleurone sans altérer le protoplasma, dans le liquide de Grönland, par exemple, on voit se dessiner à la surface de l'utricule un réseau à mailles polygonales formé par des bandelettes extrêmement ténues de matière albuminoïde (pl. 6, fig. 74). La dimension des mailles est égale pour chaque graine à la dimension des grains d'aleurone, et si l'on observe, sous le microscope, la dissolution de ces grains, on voit que chacun d'eux était logé dans une maille du réseau. Ces faits s'observent avec facilité dans le cotylédon de l'*Erythrina crista-galli*.

En étudiant le développement du cotylédon de *Schotia latifolia*, je me suis appliqué à rechercher quelles relations pouvaient exister entre le réseau ci-dessus mentionné et le grain d'aleurone. J'ai constaté, comme cela est indiqué à la description spéciale de cette graine, que le réseau apparaît avant les débuts de la formation des grains d'aleurone, que les bâtonnets naissent dans les mailles de manière que leur côté convexe soit appliqué contre le filament qui limite la maille (pl. 6, fig. 74). Lorsque les bâtonnets se sont réunis en anneaux, chacun de ceux-ci est placé dans une maille, dont il occupe la périphérie.

Il résulterait de là que chez le *Schotia*, avant de former les grains d'aleurone, l'utricule protoplasmique se divise en petits polygones qui s'individualisent, et dont chacun est chargé de produire un grain d'aleurone.

Dans bon nombre de cotylédons, je n'ai pu trouver le réseau protoplasmique; mais, si l'on admet que chez eux l'utricule se divise aussi en polygones qui ne sont pas visibles, parce que entre eux le protoplasma ne s'épaissit pas de manière à donner une ligne de séparation, on aura une explication satisfaisant l'esprit, au sujet de quelques particularités que présente la naissance des grains d'aleurone. N'est-il pas étonnant, en effet, que lorsque les enclaves sont multiples et de nature différente, un globôide se forme toujours à côté d'un cristalloïde, comme dans le Ricin et le Lin, ou un cristalloïde à côté d'un cristal, comme dans l'*Æthusa Cynapium*, ou encore un globôide à côté d'un cristal (*Corylus*); qu'enfin dans le cas d'enclave simple, celle-ci se trouve toujours placée dans la concavité d'un bâtonnet? Ces associations de corps différents n'ont pas été expliquées. Or, si l'on admet que chez tous les cotylédons, la couche pariétale de protoplasma se divise en polygones, dont chacun doit former un grain d'aleurone, on aura une explication rationnelle du phénomène. Chaque polygone produira d'abord les enclaves, qui se trouveront ainsi naturellement réunies comme il convient, puis ensuite la masse fondamentale enveloppante. Toutes les parties qui constituent un même grain d'aleurone devant être formées par un petit fragment spécialisé de l'utricule primordiale, il est inévitable que toutes ces parties se trouveront à leur naissance groupées comme on sait.

Chlorophylle. — Bon nombre de cotylédons sont colorés en vert au début de leur existence. Ce fait a été relaté par plusieurs observateurs, entre autres par M. Flahault (1), qui admet que la matière colorante est déposée également sur tout

(1) Flahault, *Sur la présence de la matière verte dans les organes actuellement soustraits à l'influence de la lumière* (Bull. de la Soc. bot. de France, t. XXVI, 1879, p. 249).

A. Brongniart avait déjà signalé de jeunes embryons verts chez les Crucifères, les Rhamnées, la Capucine, l'*Ipomœa purpurea*, le *Ceratophyllum*, le *Cucurbita cerifera* et plusieurs Légumineuses.

Barnéoud a trouvé le même fait chez les Violariées et les Plantaginées (Barnéoud, *Ann. des sc. nat.*, 3^e série, t. V, 1846, p. 81).

le protoplasma, sans qu'il y ait de formations spéciales chargées de lui servir de substratum. J'ai observé la même distribution de la chlorophylle, et, de plus, j'ai remarqué que, si les cellules contiennent des corps figurés, grains d'amidon ou grains d'aleurone, ceux-ci servent de même de substratum à la matière colorante. Des grains d'amidon et d'aleurone colorés en vert ont, du reste, été déjà signalés (1).

J'ai examiné sous ce rapport les familles les plus répandues (2); il en résulte que la présence de chlorophylle dans les jeunes cotylédons est beaucoup plus fréquente qu'on ne le pense généralement. Elle est constante dans le genre et même dans la famille, sauf quelques exceptions; ainsi le *Citrus nobilis*

(1) Beck, *Vergleichende Anatomie der Samen von Vicia und Ervum* (Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes k. k. Wiener Universität. Band LXXVII, 1878).

Cet auteur a trouvé des grains d'aleurone colorés en vert dans le pétiole cotylédonaire de *Vicia* et d'*Ervum*.

(2) Voici la liste des cotylédons jeunes, colorés en vert, que j'ai observés :

CRUCIFÈRES.		TROPÉOLÉES.
Sinapis alba.	Malope grandiflora.	Tropæolum majus.
Brassica oleracea.	Palava malvæfolia.	— minus.
Barbarea vulgaris.	Napæa lævis.	
Arabis Turrita.	TILIACÉES.	LINÉES.
Farsetia clypeata.	Tilia europæa.	Linum usitatissimum.
Biscutella auriculata.	HYPÉRICINÉES.	— pallescens.
Isatis tinctoria.	Hypericum floribundum.	— flavum.
	— quadrangulum.	— corymbosum.
	— perforatum.	— Leonii.
CAPPARIDÉES.	AURANTIACÉES.	OXALIDÉES.
Capparis spinosa.	Citrus nobilis.	Oxalis stricta.
Cleome (plusieurs espèces).	ACÉRINÉES.	RUTACÉES.
	Acer pseudo-Platanus.	Ruta graveolens.
RÉSÉDACÉES.	— campestre.	— macrophylla.
Reseda Phyteuma.	— platanoides.	STAPHYLÉACÉES.
	— Negundo.	Staphylea pinnata.
CISTINÉES.	GÉRANIACÉES.	CÉLASTRINÉES.
Helianthemum vulgare.	Pelargonium zonale.	Evonymus latifolius.
Helianthemum mutabile.	Geranium sylvaticum.	— verrucosus.
Fumana Spachii.	— aconitifolium.	RHAMNÉES.
	— pratense.	Rhamnus catharticus.
	— sanguineum.	— Frangula.
VIOLARIÉES.	— collinum.	TÉRÉBINTHACÉES.
Viola alba.	Erodium moschatum.	Pistacia vera.
— mirabilis.	— sebaceum.	Cneorum tricoccum.
— sylvatica.	— ciconium.	LÉGUMINEUSES.
— elatior.	— arabicum.	Astragalus falcatus.
— rothomagensis.	LIMNANTHÉES.	Pisum sativum.
	Limnanthes Douglasii.	
MALVACÉES.		
Hibiscus Trionum.		
Lavatera trimestris.		
— moschata.		
Althæa rosea.		
Malva sylvestris.		
— peruviana.		

a son jeune embryon coloré en vert, tandis que celui du *Citrus Aurantium* est blanc. Les familles suivantes possèdent de la chlorophylle dans leurs jeunes embryons : Crucifères, Capparidées, Résédacées, Cistinées, Violariées, Malvacées, Tiliacées, Hypéricinées, Acérinées, Géraniacées, Limnanthées, Tropéolées, Linées, Oxalidées, Rutacées, Staphyléacées, Célastrinées, Rhamnées, Térébinthacées, Légumineuses, Myrtacées, Araliacées, Cornées, Valérianées, Dipsacées, Asclépiadées, Convolvulacées, Polémoniacées, Basellacées. On peut citer comme ne présentant pas ce caractère les familles des : Renonculacées, Berbéridées, Papavéracées, Fumariacées, Caryophyllées, Ampélidées, Hippocastanées, Balsaminées, Rosacées, Lythariées, Onagrariées, Crassulacées, Ombellifères, Araliacées, Rubiacées, Caprifoliacées, Composées, Campanulacées, Cucurbitacées, Primulacées, Oléinées, Apocynées, Gentianées, Borraginées, Solanées, Verbascées, Scrofulariées, Verbénacées, Labiées, Plantaginées, Phytolaccées, Chénopodiées, Bégoniacées, Euphorbiacées, Celtidées, Urticées, Corylacées, Cupulifères. Je n'ai rencontré de cotylédons verts ni chez les Conifères, ni chez les Monocotylédones. On voit, en outre, par les énumérations ci-dessus, que c'est parmi les plantes à fleurs hypogynes que l'on trouve le plus d'embryons colorés en vert ; que des familles très voisines se comportent différemment sous ce rapport. Par exemple, chez les Légumineuses et les Dipsacées, l'embryon est coloré en vert pen-

Vicia Faba.
Hedysarum sibiricum.
Acacia longissima.
MYRTACÉES.
Eugenia axillaris.
Jambosa vulgaris.
Zizygium jambolanum.
ARALIACÉES.
Hedera Helix.
CORNÉES.
Cornus mas.
— sanguinea.
VALÉRIANÉES.
Valeriana officinalis.
Centranthus ruber.
Valerianella pumila.

DIPSACÉES.
Scabiosa columbaria.
— suaveolens.
— Fischerii.
Pterocephalus palcotinus.
Knautia arvensis.
Cephalaria alpina.
— tatarica.
— procera.
Dipsacus pilosus.
— Guelini.
— laciniatus.
— fullonum.
ASCLÉPIADÉES.
Vincetoxicum officinale.
— nigrum.
— medium.

Asclepias syriaca.
CONVOLVULACÉES.
Convolvulus tricolor.
Quamoclit coccinea.
Pharbitis purpurea.
POLÉMONIACÉES.
Ipomopsis elegans.
Gilia capitata.
— millefolia.
— tricolor.
Phlox Drummondii.
— paniculata.
BASELLACÉES.
Basella rubra.

dant sa jeunesse, tandis que chez les Rosacées et les Composées il est blanc; il en est de même chez les Cornées et les Caprifoliacées, les Valérianées et les Rubiacées, etc.

En mûrissant, la plupart de ces embryons perdent leur coloration verte et deviennent blancs ou jaunes; quelques-uns la conservent jusqu'à la maturité et pendant la germination; ils sont donc verts pendant toute leur existence (*Acer*, toutes les espèces; *Citrus nobilis*, *Eugenia axillaris*, *Zizygium jambolanum*, *Jambosa vulgaris*, *Pistacia vera*, *Evonymus europæus*, *Melianthus major*, etc., plusieurs Zygophyllées, plusieurs Légumineuses).

Albumen.

A partir du moment où toutes ses cellules ont pris naissance, l'évolution de l'albumen est très simple.

Au point où nous avons commencé l'étude des cotylédons, l'albumen se compose toujours de cellules à parois minces, cellulósiques, renfermant une couche pariétale de protoplasma reliée à un noyau central par des filaments rayonnants de matière albuminoïde. Les parois s'épaississent, quand il y a lieu, en même temps que celles du cotylédon. Les cellules de l'albumen ne contiennent, jusqu'à la maturité de la graine, qu'une seule sorte de corps figurés. Si l'albumen doit être amy lacé, de l'amidon se forme seul dans ses cellules; s'il doit être aleurique, il ne se forme que des grains d'aleurone, sans mélange à aucun moment de grains d'amidon. Ces corps figurés naissent en même temps que ceux du cotylédon et par les mêmes processus généraux.

Enfin, pendant son développement, l'albumen perd souvent quelques rangs de ses cellules internes, qui sont en partie résorbées par l'embryon, et dont les débris persistent, sous la forme de couche feuilletée, jusqu'à la maturité de la graine.

GERMINATION.

Nous allons passer en revue les phénomènes que présentent les cotylédons et l'albumen pendant la période germinative, en suivant l'ordre toujours adopté jusqu'ici.

Cotylédons.

Tissus. — *Épiderme*. — Beaucoup d'épidermes ne se modifient pas sensiblement; leurs cellules ne font que s'agrandir légèrement pour suivre le gonflement de l'organe qu'elles recouvrent (*Quercus*, *Castanea*, *Æsculus*, *Eriobotrya*, *Arachis*, *Zeus*, *Phaseolus*, etc.). D'autres, appartenant à des cotylédons qui s'étendent beaucoup, prennent aussi un notable accroissement, mais sans se multiplier (*Coulteria tinctoria*, *Schotia latifolia*, etc.). Enfin, chez beaucoup de cotylédons foliacés, dont les dimensions, à la fin de la germination, sont considérablement plus grandes qu'à l'état latent, les cellules épidermiques se multiplient activement (*Ricinus communis*).

Le plus souvent, surtout chez les cotylédons foliacées, les parois latérales des cellules épidermiques deviennent ondulées; il n'est même pas rare que, ces ondulations s'accroissant, la cellule épidermique présente de face une forme étoilée (*Achusa officinalis*, *Anthriscus Cerefolium*, *Cucurbita Pepo*, *Salvia Sclarea*, *Pelargonium tomentosum*, *Coriandrum sativum*).

Les trois types de cotylédons cités plus haut peuvent former des stomates pendant la germination, soit de toutes pièces (*Phaseolus*, *Ricinus communis*, *Schotia latifolia*, etc.), soit seulement en partie, comme chez le *Coulteria*, le Lin, la Trigone, etc., où ces organes, ébauchés avant la maturité de la graine, ne font plus que s'achever pendant la période germinative. Dans le premier cas, j'ai observé qu'une cellule quelconque de l'épiderme devenait la cellule mère du stomate et produisait directement les deux cellules de bordure. Quant au second cas, il a été indiqué, au chapitre du développement

embryonnaire, comment se produit la cellule mère; celle-ci, pendant la germination, n'a plus qu'à se diviser pour former le stomate. Nous verrons plus tard à quel moment, relativement aux autres phénomènes dont le cotylédon est le siège, se produisent toutes les divisions cellulaires de l'épiderme.

Quelle que soit la façon dont ils se développent, les stomates se trouvent le plus souvent sur les deux faces du cotylédon (*Scutellaria micrantha*, *Bonjeanea hirsuta*, *Veronica hederæfolia*, *Datura Stramonium*, *Raphanus sativus*, *Althæa rosea*, *Tetragonolobus Requiemi*, *Dipsacus ferax*, *Echium creticum*, *Onopordon Acanthium*, *Torilis Anthriscus*, *Cucurbita Pepo*, *Convolvulus tricolor*, *Euphorbia Lagassæ*, *Lavandula pubescens*, *Salvia Sclarea*, *Lupinus albus*, *Ipomœa peltata*, *Linum usitatissimum*, *Mercurialis annua*, etc.). Il est beaucoup plus rare de les rencontrer sur une seule face (l'inférieure : *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica*, *Phaseolus vulgaris*, *Anthriscus Cerefolium*, *Dolichos sesquipedales*, *Papaver officinale*; la supérieure : *Ulmus montana*, *Abies pectinata*, *Pinus Pinea*, etc.).

On voit par là que la règle posée en considérant les graines à l'état de repos, à savoir que les stomates n'existent ordinairement pas sur les cotylédons tuberculeux, tandis qu'ils sont très fréquents sur les cotylédons minces, se vérifie encore pendant la période germinative. En effet, la plupart des cotylédons à stomates cités à l'instant sont foliacés.

Des poils peuvent se former, d'ordinaire sur les deux faces du cotylédon, pendant la germination; on peut dire à cet égard que les plantes qui ne possèdent pas de poils sur leurs feuilles n'en ont pas sur leurs cotylédons, mais que celles qui se trouvent dans le cas contraire n'ont pas toujours les cotylédons velus. Ainsi les plantes suivantes : *Cineraria maritima*, *Solanum atropurpureum*, *Scutellaria micrantha*, *Veronica hederæfolia*, *Tetragonolobus Requiemi*, *Echium creticum*, *Anchusa officinalis*, *Lavandula pubescens*, *Salvia Sclarea*, *Grevillea robusta*, *Pelargonium tomentosum*, *Lactuca stricta*, *Cannabis sativa*, etc., pileuses à différents degrés, présentent le même caractère sur leurs cotylédons en pleine germination. Par

contre, les *Solanum marginatum*, *Datura Stramonium*, *Aralia hispida*, *Raphanus sativus*, *Althæa rosea*, *Dipsacus ferox*, *Onopordon Acanthium*, *Torilis Anthriscus*, etc., dont les feuilles sont très velues, ont des cotylédons tout à fait glabres. La feuille embryonnaire de *Mesembrianthemum cristallinum* offre, comme la feuille végétative, des cellules épidermiques prolongées vers le dehors en papilles.

Aucune règle ne paraît présider à cette distribution des poils sur les cotylédons.

Je n'ai pas rencontré de poils ramifiés, ni en massifs; toujours ces organes étaient simples, formés d'une seule cellule ou de plusieurs, rangées en une seule série. Lorsque sur la plante les poils présentent quelques particularités, elles se retrouvent habituellement dans les poils du cotylédon. Par exemple : les poils cotylédonaire des Labiées se terminent tous par une cellule glanduleuse comme ceux des feuilles; ceux de l'*Echium creticum*, de l'*Anchusa italica*, implantés sur une rosette de cellules épidermiques épaissies, présentent le même caractère sur le cotylédon.

Lorsque, comme je l'ai observé seulement chez le cotylédon du Marronnier, les membranes épidermiques possèdent une grande épaisseur, elles s'amincissent beaucoup pendant la germination et par là montrent qu'elles constituaient une réserve de cellulose.

Une membrane cuticulaire plus ou moins épaisse, mais toujours homogène et sans proéminences internes, recouvre constamment l'épiderme. J'ai observé dans un cas (*Æsculus*) la subérification de l'épiderme inférieur seulement.

Parenchyme. — Nous considérerons la disposition des cellules, leur multiplication et l'épaisseur de leurs membranes.

Les parenchymes homogènes et les parenchymes radiants, appartenant presque toujours, comme on l'a vu, aux cotylédons épais, ne modifient pas leur conformation pendant la germination. Cependant dans la graine de *Lupinus albus*, dont le parenchyme est homogène à l'état de repos, il se produit, pendant la germination, un arrangement particulier des cel-

lules de la face supérieure, qui simule une couche palissadique (pl. 2, fig. 16). Ces cellules, par places dissociées latéralement, sont rangées en séries radiales, mais non en séries tangentielles. La face inférieure a conservé ses cellules globuleuses, dissociées maintenant en un parenchyme très lacuneux.

Les cotylédons minces et à couche palissadique ne changent pas leur structure pendant la germination, sinon que les cellules palissadiformes s'allongent davantage; la couche qu'elles forment se sépare alors plus nettement du reste du parenchyme. Les cellules du parenchyme inférieur deviennent souvent étoilées et constituent un parenchyme de consistance spongieuse (*Fagus sylvatica*, *Althaea rosea*, *Tetragonolobus Requiemi*, *Dipsacus ferox*, *Echium creticum*, *Onopordon Acanthium*, *Cucurbita Pepo*, *Lactuca sativa*, etc.).

Les cotylédons tuberculeux n'augmentent pas, pendant la germination, le nombre des cellules de leur parenchyme. Parmi les cotylédons foliacés, il faut distinguer deux catégories : ceux qui s'étendent peu (*Coulteria tinctoria*, *Linum*, *Hedysarum*, etc.) ne forment pas de nouvelles cellules; leur extension est due à l'agrandissement des cellules préexistantes et à la formation entre elles de grandes lacunes aérifères. Les cotylédons qui prennent une grande extension (Ricin, Café, Lierre, etc.) sont, au contraire, le siège d'une division active des cellules, division qui se remarque aussi bien dans les cellules en palissade que dans les cellules globuleuses. Cette division se fait toujours par des cloisons perpendiculaires à la surface, en sorte que le cotylédon augmente peu en épaisseur, mais énormément en surface.

Lorsque les membranes cellulaires présentent, à l'état de repos de la graine, une certaine épaisseur, soit par un dépôt de granulose, soit par un dépôt de cellulose, ce dépôt se dissout pendant la germination, et les membranes reviennent à leur minceur primitive (*Schotia latifolia*, *Æsculus Hippocastanum*, *Lupinus albus*, *Phaseolus vulgaris*, *Theretia nerifolia*, etc.).

Enfin, pour terminer ce qui a trait au parenchyme, nous dirons que les cotylédons des plantes qui contiennent des appareils glanduleux, et qui ne les ont pas formés à l'état de maturité, les forment pendant la germination. Ainsi, j'ai trouvé des canaux sécréteurs dans les cotylédons développés des plantes suivantes : *Abies pectinata*, *Pinus Pinea*, *Torilis Anthriscus*, *Anthriscus Cerefolium*, *Coriandrum sativum*, *Feniculum vulgare*, *Hedera Helix*, etc., et des vaisseaux laticifères dans la feuille embryonnaire des : *Euphorbia Lagassæ*, *Theretia neriiifolia*, *Papaver officinale*, *Lactuca stricta*, *Picridium tingitanum*, *Barckausia rubra*, *Crepis sibirica*, *Helminthia echioides*, *Picris hieracioides*, etc. Le cotylédon d'*Eucalyptus robusta*, étalé et verdi, avait formé des glandes sur ses deux faces comme les feuilles ordinaires, ainsi que celui de *Citrus Aurantium*. Tous ces cotylédons étaient sans appareils sécréteurs à l'état de vie latente.

Nervation. — Les nervures se comportent pendant la germination, au point de vue de leur multiplication, comme le parenchyme et l'épiderme. Chez les cotylédons tuberculeux et les cotylédons foliacés qui ne prennent pas une grande extension, et où par conséquent les cellules du parenchyme et de l'épiderme ne prolifèrent pas, le nombre des nervures n'augmente pas. La course des nervures avait donc atteint, dès l'état de maturité, son développement définitif. Au contraire, les cotylédons foliacées qui s'étendent beaucoup, comme ceux du Ricin et de la Courge, dont les cellules parenchymateuses et épidermiques se multiplient pendant la période germinative, complètent seulement à ce moment leur système de nervation.

Nous avons déjà vu que, sauf de rares exceptions, les cotylédons qui contiennent de l'aleurone possèdent, à l'état de repos, des nervures composées uniquement de procambium. C'est seulement pendant la germination que des trachées se différencient à la face supérieure du cordon procambial. L'apparition des premiers vaisseaux coïncide toujours avec la

naissance, dans les cellules du parenchyme, des premiers grains d'amidon de seconde formation.

Arrivée à son complet développement, la nervure médiane se compose, qu'elle se soit différenciée avant la maturité de la graine ou seulement pendant la germination, des tissus suivants :

Il peut se faire que peu de bois secondaire prenne naissance, et la partie ligneuse du cordon ne comprend que quelques vaisseaux isolés (*Coulteria*, *Arachis*) ; mais chez le Ricin, le Lierre (pl. 5, fig. 61), la Nèfle du Japon, le bois secondaire, relativement très développé, forme sur la coupe un éventail composé par cinq ou six rangs de vaisseaux superposés radialement. Quelques rayons médullaires traversent cet ilot ligneux.

Il existe partout du cambium, formant une couche génératrice continue (Ricin, Maronnier, Lierre, Nèfle du Japon, Chêne), ou interrompue (*Coulteria*).

Le liber conserve habituellement ses éléments mous ; mais il peut se former à la face externe de ce tissu une couche de cellules épaissies, d'une seule assise dans le Maronnier, de cinq ou six dans le *Coulteria*. Les principales nervures de l'*Eriobotrya japonica* ont toutes leurs cellules épaissies, et dans le *Latania borbonica*, il se produit à la face externe du faisceau un arc très épais composé de fibres libériennes (pl. 5, fig. 62). Tous ces éléments solidifiés présentent l'éclat nacré particulier qu'on est habitué à voir en pareil cas. Dans la partie du liber qui a conservé ses membranes minces, les cellules, égales entre elles, forment quelquefois un tissu homogène (*Hedera Helix*, *Coulteria tinctoria*, etc.), ou bien, devenant inégales, les petites se groupent en ilots, séparés par des cellules plus grandes qui produisent l'effet de lacunes ; cette disposition est très accentuée dans les faisceaux libéro-ligneux du Maronnier d'Inde et de l'Érable plane (pl. 5, fig. 58).

Chez le Ricin et le Lierre, l'épiderme qui recouvre la nervure médiane est doublé d'une couche hypodermique collenchymateuse existant aux deux faces du cotylédon. L'hypoderme

n'arrive pas jusqu'au faisceau. Ce tissu de renforcement ne se rencontre que dans les cotylédons qui se développent en feuilles minces et où, par conséquent, la nervure principale fait saillie ; chez ceux qui, bien que présentant la structure et l'aspect d'une feuille, ont une certaine épaisseur, et où le parenchyme est assez épais pour contenir la nervure sans la laisser proéminer, l'hypoderme n'existe pas (*Coulteria*, Lin, *Trigonelle*, etc.) ; il en est de même, à plus forte raison, chez les cotylédons tuberculeux.

Telle est la structure générale de la nervure médiane et des nervures principales. Les autres n'en diffèrent que par un moindre développement des différentes parties et par l'absence fréquente de couche cambiale. De plus, ces nervures de second ordre ne sont jamais accompagnées de faisceau hypodermique.

Dans aucun cas je n'ai remarqué de cellules criblées parmi les éléments du liber.

Enfin, le bois et le liber affectent l'un par rapport à l'autre dans les faisceaux du cotylédon germé, les mêmes dispositions que dans les autres parties de la plante. Par exemple, le faisceau cotylédonaire de l'Oranger est concentrique avec bois intérieur comme celui de la feuille ; ceux de la feuille embryonnaire du *Solanum atropurpureum* et du *Cucurbita Pepo* sont bicollatéraux, comme dans les autres organes de ces végétaux.

CONTENU CELLULAIRE. — *Corps protoplasmique*. — Pendant toute la durée de la germination, le protoplasma se présente sous la forme d'une couche mince, pariétale (utricule primordiale), contenant en un de ses points le noyau cellulaire. C'est de cet enduit plasmatique que naissent tous les organites que nous allons voir se produire dans les cellules.

Dérivés du protoplasma. — Sous le rapport des formations figurées qu'ils contiennent pendant la germination, les cotylédons se divisent en deux grands groupes correspondant à ceux déjà déterminés pendant l'état de vie latente de la graine et

pendant son développement. Le premier groupe comprend les cotylédons à réserve purement amylacée (Chêne, Marronnier, etc.), et le second ceux qui contiennent de l'aleurone, que cette substance soit seule, ou mélangée d'amidon. Dans chacun de ces groupes, l'évolution du contenu des cellules se fait d'après les mêmes lois fondamentales, mais d'un groupe à l'autre elle diffère essentiellement.

Chez les cotylédons du premier groupe, les transformations qui ont lieu dans le contenu des cellules présentent la plus grande simplicité. Pendant la germination, les grains d'amidon se dissolvent et, à leur place, il n'apparaît aucun autre corps figuré. C'est habituellement par dissolution égale que les grains d'amidon disparaissent; je n'ai observé le mode local que chez l'*Eriobotrya japonica*. L'amidon n'est jamais entièrement résorbé; il en reste encore une assez grande quantité, ainsi que l'a mentionné M. Sachs, au voisinage des épidermes et autour des faisceaux vasculaires, dans la couche dite amylière.

Une fois sortis de leurs enveloppes et exposés à la lumière, quelquefois même dans la graine non germée, ces cotylédons verdissent. Le verdissement est presque toujours dû à un dépôt de chlorophylle sur le protoplasma et les grains d'amidon, mais il ne se forme pas de grains de chlorophylle.

Cependant, chez une seule graine, le *Quercus Mirbeckii*, de telles formations prennent naissance, pendant la germination, à la face inférieure seulement du cotylédon. Elles paraissent sous forme de petites élevures de l'utricule pariétale, d'abord très faibles (pl. 6, fig. 77), puis s'accroissant de plus en plus et donnant de vrais grains de chlorophylle (fig. 78), toujours appliqués, par conséquent, contre la couche pariétale protoplasmique. Plus tard, on trouve ces grains de chlorophylle remplis entièrement par un grain d'amidon composé. Entre les grains partiels d'amidon, il ne reste plus que de minces couches de la substance du grain de chlorophylle (pl. 6, fig. 79 et 80). Ces grains d'amidon, produits de l'assimilation de la chlorophylle, ont le même sort que ceux qui compo-

saient la réserve ; ils sont dissous pour servir à l'accroissement des membranes de l'embryon.

Dans le second groupe de cotylédons distingués plus haut, les phénomènes qui ont lieu à l'intérieur des cellules montrent une beaucoup plus grande complication. Chez tous, deux phases différentes se succèdent : la dissolution des grains d'aleurone et la naissance d'amidon secondaire. En outre, chez tous ceux qui appartiennent au groupe des foliacés, des grains de chlorophylle se produisent ensuite, et fonctionnent comme d'habitude. Nous allons étudier la manière d'être de ces trois sortes de corps figurés.

Dissolution des grains d'aleurone. — La dissolution de l'aleurone est le premier phénomène qui marque histologiquement le commencement de la germination. Les grains d'aleurone, petits, punctiformes, qui remplissent les cellules épidermiques et les éléments allongés des cordons procambiaux, disparaissent rapidement sans qu'on remarque dans leur masse aucune trace de corrosion ; ils sont donc dissous également par toute leur surface.

Les grains d'aleurone plus volumineux qui se rencontrent dans les parenchymes présentent un mode de régression différent ; ils sont toujours altérés par places, à peu près comme les grains d'amidon soumis au mode de dissolution locale. Je ne m'occuperai ici que de la destruction de la masse fondamentale du grain, la mise en liberté des enclaves et leur mode de dissolution étant bien connus, d'après les travaux de Gris et surtout de M. Pfeffer.

En général, dès les premiers jours de la mise en germination, les grains d'aleurone présentent des taches plus sombres distribuées inégalement ; ce sont des endroits où la substance commence à se dissoudre et où présentant, dès lors, une moins grande densité, elle est aussi moins réfringente. Plus tard, ces places deviennent vides et le grain d'aleurone est creusé d'un grand nombre de petites cavités (pl. 6, fig. 69, a, 76, a). Cette altération se produisant aussi bien à la périphérie du grain que dans son intérieur, il en résulte que sa surface

devient souvent inégale et bosselée (fig. 76). Ces cavités s'agrandissent et se multiplient, elles se rejoignent entre elles, et de la sorte le grain d'aleurone est déchiqueté en petits fragments irréguliers et anguleux (pl. 6, fig. 69, *c*). Ces fragments subissent les mêmes actions que le grain total; ils se découpent eux-mêmes, et, finalement, il ne reste plus du grain d'aleurone que des débris informes, extrêmement ténus, qui ressemblent à une fine poussière. Puis ces granules disparaissent et il ne reste plus rien du grain aleurique. Tel est le mode général. On y distingue plusieurs cas particuliers : le grain d'aleurone peut être attaqué dans toute son étendue, mais souvent sa couche périphérique est respectée, et demeure comme un anneau après la dissolution de la partie centrale (pl. 6, fig. 69, *c*, *d*, *d'*). Cet anneau se brise à son tour et ses fragments ont le même sort que les fragments du grain total (pl. 6, fig. 70). Enfin il peut arriver qu'une des lacunes que nous venons de voir se former s'agrandisse plus que les autres et envahisse totalement le grain d'aleurone (pl. 6, fig. 69 et 76). En même temps, les petites cavités se comportent comme ci-dessus et le grain d'aleurone est dissous à la fois par l'action habituelle des petites lacunes et par celle de la grande. Dans certains cas, la grande lacune est placée tout à fait extérieurement par rapport au grain (fig. 76, *b*, *c*, *e*); d'autres fois, elle est intérieure, mais excentrique, et respecte toujours la couche périphérique du grain (fig. 76, *b'*, *c'*, *d'*, *d*).

Ce mode de dissolution des grains d'aleurone me paraît général; je l'ai observé dans toutes les graines que j'ai fait germer (*Coulteria tinctoria*, *Arachis hypogaea*, *Trigonella Fœnum-græcum*, *Citrus Aurantium*, *Schotia latifolia*, *Sterculia platanifolia*, *Amygdalus communis*, *Pinus halepensis*, *Casuarina quadrivalvis*, etc.).

Il est important de faire remarquer que la chute des grains d'aleurone en petits fragments n'a pas lieu d'après les procédés réguliers qui président à la division des corps qui doivent continuer à fonctionner, tels que le noyau cellulaire; c'est une véritable régression, celle qui convient à un organe

qui a cessé de vivre, et qui n'est plus utile à la plante que par les substances chimiques qu'il lui fournit.

Amidon secondaire. — Examinons maintenant la seconde formation figurée qui apparaît dans le cotylédon aleurique en germination. La naissance des grains d'amidon secondaire coïncide toujours avec la fin de la destruction des grains d'aleurone; c'est lorsque les cellules ne contiennent plus que quelques granulations protéiques, derniers débris du grain aleurique, que l'on voit apparaître les premières traces d'amidon. Ce moment est aussi à considérer quant à l'évolution des tissus. Toutes les modifications qui se produisent dans la trame cotylédonaire pendant la germination apparaissent en même temps que les premiers grains d'amidon. Ainsi, chez les cotylédons dont l'épiderme ou le parenchyme multiplient leurs cellules, les premières traces de division concordent avec la naissance de l'amidon; dans les cotylédons nombreux où les nervures sont à l'état procambial, les premières trachées se différencient à ce même moment.

Étant donnés les rapports de l'amidon secondaire avec le contenu des cellules et la forme des tissus, voyons comment il naît. Vers la fin de la destruction des grains d'aleurone, les cellules se remplissent tout à coup de corps globuleux, de nature albuminoïde, appliqués contre l'utricule protoplasmique; ce sont les leucites qui produiront les grains d'amidon. Ces corps ont été déjà signalés par Gris, qui en a méconnu, on le comprend, la valeur, et les a désignés comme un « substratum granuleux et azoté provenant de l'altération des grains d'aleurone (1) ». Ces leucites forment des grains d'amidon, tantôt à leur surface, comme dans le *Coulteria tinctoria*, tantôt dans leur masse, comme chez le *Schotia*. J'ai figuré (pl. 6, fig. 75) les leucites du *Schotia* à différents états. Ils se présentent comme des épaisissements de l'utricule faisant saillie dans la cavité cellulaire; d'abord homogènes (*a* et *b*), ils contiennent bientôt de petits grains d'amidon isolés (*c* et *c'*), qui grandissent en se rapprochant l'un de l'autre, et finissent

(1) A. Gris, *Recherches sur la germination*, p. 105.

par occuper tout le leucite, dont la substance propre disparaît presque entièrement (*d* et *d'*).

A cette période, on trouve dans toutes les graines de nombreux grains d'amidon secondaire, presque toujours composés, appliqués contre la couche protoplasmique pariétale, et englobés dans les restes du leucite. Il est inutile d'entrer dans de plus longs détails sur la structure de ces grains composés, depuis longtemps connus.

A partir de ce moment, cet amidon se résorbe par dissolution égale ; la matière albuminoïde qui enveloppe les grains se rétracte, suit leur diminution de volume et, lorsque tout l'amidon a disparu, elle demeure comme un faible renflement de l'utricule protoplasmique. Le leucite, après avoir formé de l'amidon, a donc survécu, bien que dégradé, à la destruction de cette substance.

Lorsque le cotylédon contenait, à l'état de repos, des grains d'amidon mêlés aux grains d'aleurone (Haricot, Arachide, etc.), les premiers persistent jusqu'à la dissolution des grains de nouvelle formation. A un moment donné de la germination, la graine renferme donc de l'amidon de deux origines différentes. Quelques-uns des grains se sont formés avant la maturité de l'embryon et sont d'origine primaire ; ils se reconnaissent, à simple vue, à leurs dimensions généralement considérables, et parce que le plus souvent ils sont simples. Les autres ont pris naissance pendant la germination et sont d'origine secondaire ; on les distingue facilement des premiers en ce qu'ils sont presque toujours composés, et que chacun des grains partiels est beaucoup plus petit que les grains primaires. La dissolution de l'amidon, de quelque provenance qu'il soit, se fait en un seul temps. Dans les cotylédons épais, il en reste toujours une certaine quantité autour des faisceaux vasculaires, dans une couche de cellules que M. Sachs a appelée *gaîne amylofère*.

Lorsque l'amidon secondaire se forme, le cotylédon encore renfermé dans ses enveloppes est incolore. Le leucite fonctionne donc à l'obscurité et sans chlorophylle ; il n'assimile

pas et forme l'amidon aux dépens des substances mises en réserve dans la graine. Plus tard, le cotylédon verdit par dépôt de chlorophylle sur le protoplasma; cependant, comme le leucite ne forme pas de nouveaux grains d'amidon, qu'il ne renferme jamais que ceux qui s'y trouvaient tout d'abord, on doit admettre que ces corps, quoique imprégnés de chlorophylle, ne peuvent pas plus assimiler que lorsqu'ils étaient incolores. Ce sont ces leucites verts que M. Dehnecke a désignés avec raison sous le nom de *grains de chlorophylle non assimilants* (1).

Grains de chlorophylle. — Les grains d'amidon secondaire se retrouvent sans aucune exception pendant la germination de tous les cotylédons aleurifères. En outre, dans certains cotylédons, il se forme ensuite des grains de chlorophylle; tous les cotylédons foliacés sont dans ce cas, et aussi quelques cotylédons tuberculeux (*Lupinus albus*, *Thevetia nerifolia*).

Les grains de chlorophylle n'apparaissent que lorsque l'amidon a entièrement disparu des cellules. Les choses se passent comme il a été décrit ci-dessus, chez le cotylédon de *Quercus Mirbeckii*, et les figures données à ce propos peuvent servir ici (pl. 6, fig. 77-80). Le premier indice de la formation d'un grain de chlorophylle est un épaissement faible de l'utricule protoplasmique pariétale, de l'étendue d'un grain. L'épaississement augmente, proémine de plus en plus vers la cavité cellulaire et acquiert bientôt sa forme définitive. Nous avons déjà vu que la matière colorante se dépose dans le cotylédon avant la dissolution de l'amidon; elle préexiste donc à la naissance des grains de chlorophylle, et ceux-ci, dès leur naissance, sont colorés en vert. Arrivés à l'état adulte, ils se présentent donc sous la forme de renflements à peu près hémisphériques de l'enduit protoplasmique pariétal auquel ils demeurent adhérents; leur face plane est appliquée par conséquent contre la paroi cellulaire et leur face convexe est

(1) Carl Dehnecke, *Ueber nicht assimilirende Chlorophyllkörper*. Köln, 1880.

ournée vers la cavité. Ils sont de nature albuminoïde, d'aspect homogène, et diffèrent des parties non épaissies de l'utricule par leur plus grande réfringence et par leur coloration verte plus intense.

Le mode de naissance des grains de chlorophylle est le seul que j'aie remarqué chez les cotylédons; ces corps préexistent donc aux grains d'amidon qui se trouvent plus tard en eux, et comme le dit Sachs (1) : « Les enclaves d'amidon apparaissant plus tard n'ont absolument rien à faire avec la naissance des corps chlorophylliens; ils sont plutôt un produit de l'activité vitale de ces derniers. » Cependant MM. Haberland et Mikosch, dans les mémoires cités au chapitre de l'histoire, admettent que pendant la germination de plusieurs graines, entre autres du Haricot, des grains de chlorophylle peuvent se former dans le cotylédon par un autre procédé. Les grains d'amidon préexistants s'enveloppent d'une couche de protoplasma; puis ils diminuent progressivement de volume et finissent par disparaître. Le protoplasma qui les enveloppait resté seul constitue alors un grain de chlorophylle. Ici le grain d'amidon préexiste et « joue un grand rôle dans la différenciation du plasma en grains de chlorophylle ».

Je n'ai jamais observé ce second mode de naissance des grains de chlorophylle, bien qu'ayant repris la germination de l'une des graines examinées par ces auteurs, le Haricot. J'ai toujours vu les grains d'amidon de seconde formation naître dans les renflements de l'enduit pariétal de protoplasma, en sorte qu'ils sont enveloppés de cette substance. Mais le protoplasma enveloppant et les grains d'amidon contenus grandissent ensemble et on ne peut pas dire que l'amidon formé d'abord s'entoure ensuite de plasma. En outre, l'amidon disparaît plus tard, il est vrai, mais la masse protéique dans laquelle il était enchâssé ne demeure pas sous forme de grains de chlorophylle, elle disparaît au contraire avec le grain d'amidon.

(1) Sachs, *Physiologie végétale* (traduction française, p. 343).

Il faudrait distinguer avec soin ces leucites verts des vrais grains de chlorophylle; il y a entre eux des différences profondes. Les premiers naissent dans tous les cotylédons aleurifères au commencement de la période germinative. Ils sont d'abord incolores et ne deviennent verts que plus tard. L'amidon se forme à leur intérieur, même à l'obscurité, ainsi que le reconnaissent eux-mêmes MM. Haberland et Mikosch; ils peuvent parcourir d'ailleurs toutes les phases de leur évolution sans que la plante soit exposée à la lumière. L'amidon ne se produit chez eux qu'une seule fois; les grains qu'ils renferment sont tous dus à la même néo-formation; ils augmentent d'abord, atteignent un maximum, puis se résorbent. Enfin, lorsque l'amidon se dissout, le leucite se contracte et finit par se confondre presque totalement avec la couche pariétale de protoplasma. Les seconds, au contraire, ne se produisent en général que chez les cotylédons foliacés, et toujours vers la fin de la germination, alors que la feuille embryonnaire est vidée de toutes ses réserves. Ils sont toujours verts et ont besoin pour produire de l'amidon d'être exposés à la lumière. Si on les place à l'obscurité, les grains amyloacés qu'ils contenaient se détruisent, pour reparaitre de nouveau si la lumière est rendue à la plante. Ils peuvent produire et dissoudre autant de fois de l'amidon qu'ils passent de la lumière à l'obscurité. Lorsque l'amidon qu'ils contenaient se dissout, ils demeurent avec les mêmes dimensions qu'ils avaient auparavant. Les premiers de ces corps n'assimilent donc pas et produisent l'amidon aux dépens des réserves de la graine; je les appellerai, comme M. Dehnecke, *grains de chlorophylle non assimilants*; les seconds fixent le carbone de l'atmosphère; ce sont de *vrais grains de chlorophylle*.

Maintenant que nous connaissons le mode de formation des grains de chlorophylle, il nous faut voir s'ils naissent par nouvelle formation aux dépens du protoplasma de la cellule, ou s'ils proviennent de la régénération ou de la division de leucites, incolores ou colorés, ayant existé antérieurement.

M. Schmitz (1) a démontré que chez les Algues une nouvelle formation de grains de chlorophylle aux dépens du plasma cellulaire n'a pas lieu, mais qu'ils naissent exclusivement l'un de l'autre par division. Les spores reçoivent de la plante mère des grains de chlorophylle qui produisent par division tous les grains de chlorophylle des plantes naissant d'elles. D'après quelques recherches, M. Schmitz pense qu'il en est probablement de même chez les plantes supérieures.

MM. Schimper et Meyer ont depuis repris sur les Phanérogames les travaux de M. Schmitz (2), et ils concluent de la même façon. La preuve que les corps chlorophylliens ou au moins leur masse fondamentale incolore, les leucites, ne naissent pas par différenciation du plasma, mais par division de formations semblables, serait fournie, dit M. Schimper, si l'on démontrait leur présence : 1° dans le sac embryonnaire, 2° dans l'œuf, 3° dans tous les méristèmes, 4° dans les semences, et aussi l'impossibilité de leur naissance par une autre voie que par la division. Il n'a pas été possible à M. Schimper d'arriver à une décision sur le premier et le deuxième point. Comme l'étude des méristèmes n'entre pas dans le cadre de mes recherches, je n'ai pas eu à répéter les observations de M. Schimper à ce sujet, et je ne puis les discuter. Je m'occuperai donc seulement de la naissance des leucites colorés ou incolores dans les cotylédons.

D'abord M. Schimper ne démontre nullement, ainsi qu'il le reconnaît lui-même, que les leucites qui se trouvent à un moment donné dans l'embryon existent déjà dans l'œuf, et proviennent par conséquent de la plante mère; ainsi il ne peut nier la néo-formation de ces leucites pendant l'évolution de l'embryon.

Ce point étant acquis qu'aucune relation entre les leucites

(1) Fr. Schmitz. *Die Chromatophoren der Algen*, Bonn. 1882.

(2) A. F. W. Schimper, *Ueber die Entwicklung der Chlorophyllkörner und Farbkörper* (*Bot. Zeit.*, 1883, p. 105). — Arthur Meyer, *Das Chlorophyllkorn in chemischer, morphologischer und biologischer Beziehung*. Leipzig, 1883.

de l'embryon et ceux de la plante mère n'a été établie, voyons comment dérivent, les uns des autres, les différents corps formateurs d'amidon qui se succèdent pendant la vie de l'embryon.

M. Schimper signale l'existence de chloroplastides ou de leucoplastides dans des embryons jeunes de Crucifères, Légumineuses, Géraniacées, *Linum*, *Helianthemum*, *Phaseolus*. « Dans les embryons où ces corps n'ont pas été trouvés, leur absence ne doit être qu'apparente, dit-il, et tient à la difficulté de l'observation; ils sont en effet mélangés aux grains d'aleurone, desquels aucune réaction caractéristique ne peut les distinguer. On ne peut souvent les reconnaître que parce que, pendant la germination, les grains d'aleurone disparaissent, tandis que les plastides persistent et, se colorant en vert, se transforment en grains de chlorophylle. Ces chloro ou leucoplastides ne sont en aucune façon détruits à la maturité de la graine, mais deviennent seulement plus petits; pendant la germination, ils augmenteraient de volume, se diviseraient et produiraient les plastides colorés ou incolores que l'on observe avec certitude à cette période de la vie de l'embryon. »

Voici le résultat de mes propres observations. Dans les cotylédons où il se produit de très bonne heure de l'amidon transitoire, il apparaît des leucites qui forment précisément les grains d'amidon; je suis donc d'accord ici avec M. Schimper. Mais, dans les graines mûres dont les cotylédons sont remplis d'aleurone (*Coulteria*, *Trigonella*, *Arachis*, *Ricinus*, etc.), je n'ai jamais observé de leucites parmi les grains aleuriques. D'ailleurs, reconnaître, parmi des grains d'aleurone, des plastides en ce qu'ils persistent et se colorent en vert pendant la germination, me paraît une méthode d'observation fort incertaine; car, s'il est impossible de distinguer ces corps pendant le repos de la graine, comment pourra-t-on les suivre pendant la germination et voir ce qu'ils deviennent? En outre, dès les premières phases du processus germinatif, tous les corps figurés de la cellule qui ne sont pas de l'ami-

don et qui peuvent ressembler à des leucites, se détruisent de la manière qui a été indiquée plus haut, et sans qu'il en subsiste aucun; ce sont donc tous des grains d'aleurone. On ne peut pas objecter que les leucites proviendraient de la destruction des grains d'aleurone, car on a vu ci-dessus que les fragments de ces grains se produisent par des procédés qui ne sont nullement ceux qui conviennent aux corps dont les fragments doivent continuer à vivre. Les grains d'aleurone se détruisent donc dans le sens propre du mot et il ne peut renaître d'eux aucun organite ayant une fonction propre. Il me semble résulter de ces faits qu'aucun leucite ne peut être démontré dans la graine à sa maturité et pendant les premiers temps de la germination.

Lorsque l'aleurone a presque complètement disparu, il se produit dans le cotylédon, comme on l'a déjà vu, une formation d'amidon secondaire plus ou moins abondante. Ces grains d'amidon naissent, nous l'avons indiqué à propos de l'étude spéciale de chaque graine et dans l'exposé des résultats généraux, par l'activité de leucites qui se forment aux dépens du protoplasma. D'après ce qui vient d'être dit, ces leucites seraient donc de nouvelle formation, car il est impossible de retrouver leurs ancêtres dans les états antérieurs du cotylédon, et encore plus de démontrer leur provenance de la plante mère.

Quant à la descendance des grains de chlorophylle qui succèdent à ces leucites, pendant la germination des cotylédons foliacés, voici ce que j'ai observé avec la plus grande attention chez le *Trigonella Fenum-graecum*. L'amidon disparaissant des leucites, les débris de ces derniers corps demeurent comme une très légère élevation de l'utricule pariétale; ce sont ces élevures qui, s'épaississant de nouveau, reprennent leur volume primitif et constituent les grains de chlorophylle.

En résumé, il ressort de cette discussion qu'il n'est nullement démontré que les leucites qui se rencontrent dans les cotylédons à plusieurs époques de leur évolution, soient les descendants de ceux de la plante mère, ni qu'ils proviennent

les uns des autres ; cependant les grains de chlorophylle qui apparaissent vers la fin de la germination de quelques graines ne seraient que les leucites antérieurs régénérés.

Albumen.

Pendant la germination, l'albumen ne suit pas le plus souvent l'extension du cotylédon et se gonfle à peine. Il est dissous par l'embryon au fur et à mesure que celui-ci grandit, et seulement à son contact (Maïs, Latanier, Dattier, etc.). L'albumen est donc dans ce cas passif. Chez le Ricin, au contraire, l'altération du contenu des cellules a lieu en même temps dans toute l'épaisseur de l'albumen ; ce qui prouve qu'elle est due à l'activité propre du protoplasma et non à l'action du cotylédon. En outre, les cellules s'agrandissent et se déforment ; leur plus grand diamètre était perpendiculaire à la surface, il lui devient parallèle, et de cette façon l'albumen peut suivre, au moins quelque temps, l'extension du cotylédon, auquel il reste adhérent. L'albumen est donc doué ici d'une vie propre. Mais la résorption de ses membranes est réservée au cotylédon, qui agit comme dans le cas des albumens inertes.

Même lorsque l'albumen est doué de vitalité pendant la germination, une différence essentielle le sépare du cotylédon. L'albumen en effet dissout ses réserves ; mais là finit son existence, et il ne se forme jamais à l'intérieur de ses cellules de nouveaux corps figurés. Dans tous les cotylédons aleurifères, au contraire, il se produit toujours de l'amidon de nouvelle formation, et souvent des grains de chlorophylle. La germination du Ricin est ici un bel exemple à citer.

Relations entre la germination des cotylédons et celle de l'albumen.

Pendant la germination, l'albumen n'influence pas l'évolution des cotylédons. Ceux-ci, qu'ils soient privés d'albumen ou non, quelle que soit la nature chimique de ce dernier, se com-

portent exactement comme tous les cotylédons du groupe auquel ils appartiennent. Les transformations que subissent les cotylédons ne dépendent donc que de leur structure propre et du contenu de leurs cellules. C'est ainsi par exemple que le cotylédon tuberculeux du Maïs, qui contient de l'aleurone, de l'amidon, et de l'huile, et qui possède un albumen farineux, passe exactement par les mêmes phases que celui de l'Ara-chide, dépourvu d'albumen. De même, les cotylédons du Lata-nier, de l'Oranger, du Ricin, du Fenu-grec, du *Schotia*, du Haricot, qui tous contiennent de l'aleurone et sont dans des conditions bien différentes quant à l'albumen, subissent les mêmes transformations.

Gris avait déjà reconnu cette loi chez les cotylédons aleuri-fères, et comme il ne connaissait pas les cotylédons purement amy-lacés, il en avait fait une loi générale ; mais elle n'est vraie que dans chacun des groupes de cotylédons.

CONCLUSIONS.

1° La connaissance de la forme externe et du contenu des cotylédons à l'état de maturité a une grande importance, car elle permet de décider, sauf quelques détails, quel a été le développement embryonnaire du cotylédon et quel sera son développement germinatif.

2° Il faut considérer séparément dans un cotylédon la trame tissulaire et le contenu des cellules ; ces deux éléments, bien qu'ayant entre eux certaines relations constantes, ne sont pas dans une dépendance absolue.

3° Au point de vue de leurs tissus, les cotylédons se divisent en deux groupes extrêmes, reliés par de nombreux inter-médiaires : les cotylédons tuberculeux, caractérisés par un grand développement de leur parenchyme, qui demeure homogène, l'absence de stomates, leur nervation ordinairement sans anastomoses et peu abondante ; les cotylédons foliacés, qui se reconnaissent à leur parenchyme mince, toujours différencié à

sa partie supérieure en une couche palissadique, leur nervation riche et abondamment ramifiée et anastomosée, aux stomates qui se rencontrent fréquemment dans leur épiderme.

Dans l'immense majorité des cas, les membranes sont celluloses; dans quelques cotylédons seulement (*Schotia*, *Tamarindus*, *Mucuna*, etc.), elles sont formées de granulose.

4° Pendant le développement embryonnaire, les cotylédons tuberculeux arrivent rapidement à leur nombre définitif de cellules; ils n'augmentent plus ensuite de volume que par l'accroissement des éléments déjà formés.

Les cotylédons foliacés, au contraire, s'accroissent par des divisions cellulaires jusqu'à une époque voisine de leur maturité. C'est pour cette raison que leurs cellules sont toujours beaucoup plus petites que celles des cotylédons tuberculeux.

5° Pendant la germination, les cotylédons tuberculeux ne font que se gonfler légèrement; leurs cellules ne se divisent pas. Les cotylédons foliacés se divisent pendant cette période en deux groupes : les uns s'étendent peu et ne sont le siège d'aucune division cellulaire; les autres au contraire, largement étalés et très minces, forment de nombreuses cellules nouvelles, aussi bien dans l'épiderme que dans le parenchyme.

6° Sous le rapport du contenu cellulaire, les cotylédons se rangent aussi en deux groupes : les uns ne renferment que de l'amidon; les autres contiennent toujours de l'aleurone soit pure, soit mêlée à l'amidon. La présence de l'aleurone coïncide avec une évolution du contenu des cellules entièrement différente de celle qui a lieu dans les cotylédons exclusivement amylacés.

7° Dans les cotylédons amylières, l'évolution du contenu des cellules se présente avec une grande simplicité; l'amidon s'y forme de bonne heure, atteint son maximum d'abondance au moment de la maturité, et disparaît pendant la germination, sans qu'aucune autre formation figurée se produise ensuite.

Les cotylédons aleuriques comprennent deux sous-groupes; dans l'un, les grains d'aleurone se forment tout d'abord; dans

l'autre l'amidon se forme en premier lieu, puis seulement l'aleurone. Enfin cet amidon peut être transitoire et disparaître bien avant la maturité de la graine, ou persister jusqu'à cette période. La dissolution des grains d'aleurone est, chez ce groupe de cotylédons, le premier phénomène de la germination ; il se produit ensuite de l'amidon secondaire qui disparaît à son tour. Enfin dans les cotylédons foliacés, des grains de chlorophylle succèdent à l'amidon dissous.

8° Certaines relations se remarquent entre la forme des tissus du cotylédon et le contenu de ses cellules. 1° Les cotylédons foliacés ne contiennent que de l'aleurone ; 2° les cotylédons tuberculeux renferment le plus souvent un mélange de grains d'amidon et de grains d'aleurone ; dans quelques cas, on y trouve cependant ou exclusivement de l'amidon ou exclusivement de l'aleurone.

Il suit de là qu'en tenant compte à la fois du contenu des cellules et de la trame cotylédonnaire, considérant que l'évolution germinative est la même, que les cotylédons renferment de l'aleurone seule ou mêlée d'amidon, on peut diviser ces organes en trois groupes : 1° les cotylédons foliacés, toujours remplis d'aleurone ; 2° les cotylédons tuberculeux à réserve aleurique ; 3° les cotylédons tuberculeux à réserve exclusivement amyliacée. En somme, il y aurait deux catégories entièrement distinctes de cotylédons : les foliacés, et les tuberculeux exclusivement amyliifères. Entre les deux se place une catégorie intermédiaire, qui tient des premiers par la nature de sa réserve, et des seconds par sa forme externe et sa structure interne.

En outre, dans les cotylédons à réserve purement amyliacée, les nervures contiennent, dès avant la maturité, du bois, du cambium et du liber ; dans les autres au contraire, elles sont toujours au même stade, à l'état procambial, et ne se différencient que pendant la germination, au moment où apparaît l'amidon secondaire. Enfin les grains de chlorophylle se forment presque uniquement dans les cotylédons foliacés.

9° Jusqu'à l'état de maturité, les cotylédons ne sont jamais

recouverts de poils, et ils contiennent très rarement des appareils sécréteurs. Pendant la germination, les poils naissent sur la plupart des cotylédons de plantes velues; de même les glandes, les canaux sécréteurs, les laticifères, se forment à cette période dans les tissus cotylédonaire des plantes qui en contiennent dans d'autres organes.

10° Les grains d'amidon qui se forment aux différents stades de la vie du cotylédon sont produits par des leucites incolores ou verts, qui naissent par différenciation du protoplasma. Les grains de chlorophylle naissant à la fin de la germination dans les cotylédons foliacés, proviennent de la régénération des leucites formateurs de l'amidon secondaire. La descendance des autres plastides, de plastides ayant existé antérieurement, n'est pas démontrée. Les grains d'amidon disparaissent le plus souvent par dissolution égale.

11° Les grains d'aleurone se forment selon deux modes principaux : par production en masse à la surface de l'utricule pariétale, ou par des bâtonnets courbes qui se réunissent en anneau. Cet anneau n'a plus qu'à s'épaissir et à combler son ouverture pour constituer un grain d'aleurone.

Les grains d'aleurone se détruisent par un procédé analogue à la dissolution locale, connue chez les grains d'amidon.

12° L'épaisseur de l'albumen varie depuis celle d'une pellicule mince jusqu'à 2 et 3 centimètres. Les membranes peuvent être très minces ou acquérir une grande épaisseur (albumens cornés). Dans ce dernier cas, toute trace de cavité peut même disparaître (*Trigonella*).

13° Les cellules de l'albumen contiennent ou de l'amidon pur ou de l'aleurone pure; jamais le mélange des deux.

Les albumens amylacés ont toujours les membranes minces; chez les autres, elles s'épaississent plus ou moins.

14° On remarque, à l'état de maturité, entre les cotylédons et l'albumen les relations suivantes : 1° Les cotylédons qui renferment de l'amidon, soit seul, soit mêlé d'aleurone, ne sont jamais accompagnés d'albumen; 2° ceux, même tuberculeux,

qui ne contiennent que de l'aleurone peuvent posséder un albumen; dans ce cas, l'albumen est toujours mince; 3° d'autre part, les embryons à cotylédons foliacés ne sont pas nécessairement pourvus d'un albumen.

15° Dans l'amande des graines albuminées, on trouve toujours réunies des réserves ternaires et des réserves quaternaires. Lorsque le cotylédon ne contient que de l'aleurone, sans huile, de la matière ternaire est toujours fournie par l'albumen.

16° Dans l'amande des graines exalbuminées, par contre, on peut trouver des réserves ternaires seules (cotylédons à réserve purement amylacée); mais toujours les réserves quaternaires sont accompagnées de substances ternaires.

17° Chez les cotylédons, les réserves consistent en cellulose et en granulose déposées sur les membranes; en huile, amidon et aleurone contenus dans les cellules.

Les réserves déposées dans l'albumen n'en diffèrent que par la présence assez fréquente de gélase, substance qui manque aux cotylédons.

18° Pendant la germination, la plupart des albumens se montrent passifs et sont dissous par le cotylédon (Maïs, Palmiers, etc.). Quelques-uns sont doués de vitalité; ils s'étendent, déforment leurs cellules et en digèrent le contenu (Ricin). La résorption des membranes est réservée à l'embryon.

19° La germination de l'albumen diffère essentiellement de celle du cotylédon en ce que, dans l'albumen, une fois les réserves figurées dissoutes, il ne se produit plus d'organites nouveaux; tandis que chez les cotylédons, il peut se former de l'amidon de seconde formation et des grains de chlorophylle.

20° La présence ou l'absence d'albumen, la nature chimique de ce dernier, n'influent en rien sur l'évolution germinative du cotylédon. Celui-ci se comporte pendant cette période comme les cotylédons du groupe auquel il appartient, c'est-à-dire d'après la forme de ses tissus et le contenu propre de ses cellules.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Les nombres placés entre parenthèses indiquent le grossissement linéaire.

PLANCHE 1.

Figures 1-7. Épiderme du cotylédon du Marronnier.

- Fig. 1. Épiderme inférieur du cotylédon du Marronnier, à la maturité.
 Fig. 2. Le même épiderme vers la fin de la germination.
 Fig. 3. Coupe de cet épiderme perpendiculaire à la surface.
 Fig. 4. Épiderme supérieur, à la maturité.
 Fig. 5. Épiderme inférieur pendant le développement.
 Fig. 6. Épiderme supérieur, à la même époque.
 Fig. 7. Coupe de l'épiderme supérieur perpendiculaire à la surface (état de maturité).

Figure 8. Épiderme du cotylédon du *Trigonella Fœnum-græcum* (700).

- Fig. 8. Épiderme supérieur du cotylédon du *Trigonella Fœnum-græcum* à la maturité.

Figures 9-10. Épiderme du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica* (300).

- Fig. 9. Épiderme du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica*, à la maturité.
 Fig. 10. Épiderme inférieur du même cotylédon, pendant la germination.

Figures 11-12. Épiderme du cotylédon jeune du *Linum usitatissimum* (345).

- Fig. 11. Une cloison oblique détache, dans une cellule épidermique, la cellule initiale du stomate (*i*).
 Fig. 12. La formation des stomates est plus avancée : quelques cellules initiales (*a*) ont produit les deux cellules accessoires et la cellule mère; dans d'autres (*b*), la cellule mère est déjà divisée en les deux cellules de bordure.

Figures 13-15. Développement des stomates sur le cotylédon du *Coultieria tinctoria* (700).

- Fig. 13. Une cloison oblique détache dans une cellule épidermique la cellule mère du stomate (*a*).
 Fig. 14. L'ensemble des deux cellules filles précédentes se spécialise parmi les autres cellules épidermiques (*f*).
 Fig. 15. La cellule mère a formé (en *a*) deux cellules de bordure; en *b*, ces deux cellules ont pris leur forme définitive.

PLANCHE 2.

Figure 16. *Lupinus albus*.

Fig. 16. Fragment d'une coupe transversale dans le cotylédon du *Lupinus albus*, en pleine germination (35).

Figure 17. *Schotia latifolia*.

Fig. 17. Coupe transversale à la face supérieure du cotylédon du *Schotia latifolia*, à l'état de maturité (145).

Figure 18. *Arachis hypogæa*.

Fig. 18. Coupe transversale à la face supérieure du cotylédon de l'*Arachis hypogæa*, à la maturité (60).

Figures 19-20. Figures schématiques du parenchyme cotylédonaire de l'*Erythrina crista-galli*, à la maturité (155).

Fig. 19. Dans la graine sèche les méats sont globuleux et font saillie dans les cellules, ce qui rend le tissu lacuneux.

Fig. 20. Même groupe de cellules dans la graine mouillée. Les méats ont repris leur forme habituelle.

Figure 21. *Latania borbonica*.

Fig. 21. Albumen du *Latania borbonica* (155).

Figures 22-29. Nervation du cotylédon du *Latania borbonica*.
(22 et 23 à l'état de maturité; 24-29 pendant la germination.)

Fig. 22. Coupe longitudinale médiane de l'embryon montrant la course des nervures (20).

Fig. 23. Coupe transversale moyenne de l'embryon pour faire voir la distribution des nervures (20).

Fig. 24. Coupe transversale au niveau de la gaine cotylédonaire, dans l'embryon germé (4).

Fig. 25. L'axe feuillé commence à faire saillie (4).

Fig. 26. L'axe feuillé est près de quitter l'axe du cotylédon et n'est plus entouré que par un étui parenchymateux (4).

Fig. 27. La séparation de l'axe feuillé et du cotylédon est complète (4).

Fig. 28. Nervation de la tête cotylédonaire, sur une coupe épaisse longitudinale, à la fin de la germination (1 1/2).

Fig. 29. Course des nervures dans la même partie, vue de dessus (2 1/2).

Figure 30. *Erythrina crista-galli*.

Fig. 30. Coupe transversale du cotylédon de l'*Erythrina crista-galli*, pour faire voir la disposition des nervures (4).

Figure 31. *Arachis hypogæa*.

Fig. 31. Coupe transversale du cotylédon de l'Arachide, pour montrer la disposition des nervures (3).

Figure 32. *Eriobotrya japonica*.

Fig. 32. Coupe transversale du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica*, pour faire voir la disposition des nervures (2).

Figure 33. *Prunus Cerasus*.

Fig. 33. Coupe transversale du cotylédon du Cerisier, pour montrer la disposition des nervures (6).

Figure 34. *Acer platanoides*.

Fig. 34. Épiderme du cotylédon de l'*Acer platanoides*, pendant la germination.

PLANCHE 3.

Figure 35. Albumen du *Trigonella Fœnum-græcum*.

Fig. 35. Albumen de *Trigonella Fœnum-græcum*, à la maturité de la graine, gonflé par l'eau (20).

Figures 36-41. Développement de la nervation chez le *Coullertia tinctoria*.

Fig. 36-37. A l'état jeune; 36 vue de face, 37 en coupe transversale.

Fig. 38-39. A un état plus âgé; 38 vue de face, 39 en coupe transversale.

Fig. 40-41. Coupes transversales de cotylédons de plus en plus âgés (10).

Figure 42. *Eriobotrya japonica*.

Fig. 42. Nervation du cotylédon de l'*Eriobotrya japonica* (1 1/2).

Figure 43. *Latania borbonica*.

Fig. 43. Coupe transversale d'un faisceau libéro-ligneux du *Latania borbonica* au commencement de la germination (450).

Figure 44. *Sterculia platanifolia*.

Fig. 44. Nervation du cotylédon du *Sterculia platanifolia* (12).

Figures 45-46. Nervation du cotylédon de l'*Arachis hypogæa* (3).

Fig. 45. Vue de face.

Fig. 46. Sur une coupe longitudinale épaisse.

Figure 47. *Amygdalus communis*.

Fig. 47. Nervation du cotylédon d'*Amygdalus communis*

Figure 48. *Hedera Helix*.

Fig. 48. Nervation du cotylédon de l'*Hedera Helix*, pendant la germination (2).

PLANCHE 4.

Figures 49-50. Nervation du cotylédon du *Schotia latifolia* (4 1/2).

Fig. 49. Vue de face.

Fig. 50. Sur une coupe transversale du cotylédon.

Figure 51. *Citrus Aurantium*.

Fig. 51. Nervation du grand cotylédon du *Citrus Aurantium* (4).

Figure 52. *Casuarina quadrivalvis*.

Fig. 52. Nervation du cotylédon du *Casuarina quadrivalvis* (10).

Figure 53. *Ulmus*.

Fig. 53. Nervation du cotylédon de l'Orme (8).

Figure 54. *Quercus Mirbeckii*.

Fig. 54. Nervation du cotylédon du *Quercus Mirbeckii* (1 1/2).

Figure 55. *Acer platanoides*.

Fig. 55. Nervation du cotylédon de l'*Acer platanoides* (3).

PLANCHE 5.

Figures 56-57. Nervation du cotylédon de l'*Aesculus Hippocastanum*.

Fig. 56. Pendant le développement (4).

Fig. 57. A la maturité (6).

Figure 58. *Acer platanoides*.

Fig. 58. Coupe transversale de la nervure médiane de l'*Acer platanoides* à la fin de la germination (250).

Figure 59. *Laurus tomentosa*.

Fig. 59. Nervation du cotylédon du *Laurus tomentosa*.

Figure 60. *Fagus sylvatica*.

Fig. 60. Nervation du cotylédon du *Fagus sylvatica* (1 1/2).

Figure 61. *Hedera Helix*.

Fig. 61. Coupe transversale de la nervure médiane du cotylédon de l'*Hedera Helix* à la fin de la germination (275).

Figure 62. *Latania borbonica*.

Fig. 62. Coupe transversale d'une des nervures du cotylédon du *Latania borbonica*, à la fin de la germination (300).

PLANCHE 6.

Figures 63-68. Naissance des grains d'aleurone dans le cotylédon de la Trigonelle (850).

Fig. 63. Une cellule du cotylédon de la Trigonelle contenant des grains d'amidon et de petits bâtonnets.

Fig. 64. État plus avancé : Les grains d'amidon sont devenus moins nombreux et plus petits, les bâtonnets commencent à former des couronnes.

Fig. 65. L'amidon a entièrement disparu. L'utricule pariétale est complètement revêtue d'anneaux d'aleurone.

Fig. 66. Les grains d'aleurone sont formés, à l'exception de quelques-uns, où il existe encore une ouverture excentrique.

Fig. 67. Phases diverses de la formation d'un anneau.

Fig. 68. Formation d'un grain d'aleurone au moyen d'un bâtonnet en arc.

Figure 69. *Trigonella Fœnum-græcum*.

Fig. 69. Dissolution des grains d'aleurone dans le cotylédon du *Trigonella Fœnum-græcum*.

a, b, c. Dissolution du grain d'aleurone par formation de cavités réparties également dans sa masse.

En *b', c', d, d'*, outre les cavités ci-dessus, il se produit un vide périphérique qui grandit jusqu'à envahir le grain tout entier.

Figure 70. *Schotia latifolia*.

Fig. 70. Dissolution des grains d'aleurone dans le cotylédon du *Schotia latifolia* (850).

Figure 71. Cotylédon de l'*Acer platanoides*.

Fig. 71. Englobement d'un cristal d'oxalate de chaux, dans un grain d'aleurone. — États successifs (850).

Figures 72-73. *Æsculus Hippocastanum*.

Fig. 72. Une cellule d'un cotylédon jeune de l'*Æsculus Hippocastanum* dont le protoplasma a été contracté. — Les grains d'amidon, encore petits, sont appliqués contre l'utricule primordiale et espacés entre eux (700).

Fig. 73. Une cellule du même cotylédon un peu plus âgé. — Les grains d'amidon, plus grands que précédemment, sont arrivés à se toucher (700).

Figures 74-75. *Schotia latifolia*.

Fig. 74. Une cellule du cotylédon du *Schotia latifolia*, montrant le réseau protoplasmique et des bâtonnets dans les mailles de ce réseau (700).

Fig. 75. Leucites développés pendant la germination du *Schotia latifolia* : *a* et *b* encore sans amidon ; *c* et *c'* avec de petits grains d'amidon ; *d* et *d'*, les grains d'amidon devenus gros remplissent le leucite (720)

Figure 76. *Arachis hypogæa*.

Fig. 76. Dissolution des grains d'aleurone dans le cotylédon de *Arachis hypogæa* (1300).

Figures 77-80. Formation des grains de chlorophylle, pendant la germination du *Quercus Mirbeckii*.

Fig. 77. Naissance des grains de chlorophylle.

Fig. 78. Grains de chlorophylle plus avancés.

Fig. 79. Grains de chlorophylle remplis d'amidon.

Fig. 80. Les mêmes vus de face et supposés détachés de la cellule (1300).

Figure 81. *Arachis hypogæa*.

Fig. 81. Corps de nature albuminoïde observés pendant la germination de l'Arachide (700).

Vu et approuvé, Paris, le 14 janvier 1884.

Le Doyen de la Faculté des sciences,

MILNE EDWARDS

Vu et permis d'imprimer, le 15 janvier 1884,

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris.

GRÉARD.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — Les mécanismes circulatoires chez les Vertébrés.
— Influence du système nerveux.

GÉOLOGIE. — Comment détermine-t-on l'âge relatif des montagnes. — Application aux Pyrénées et aux Alpes.

Vu et approuvé, Paris, le 7 février 1884.

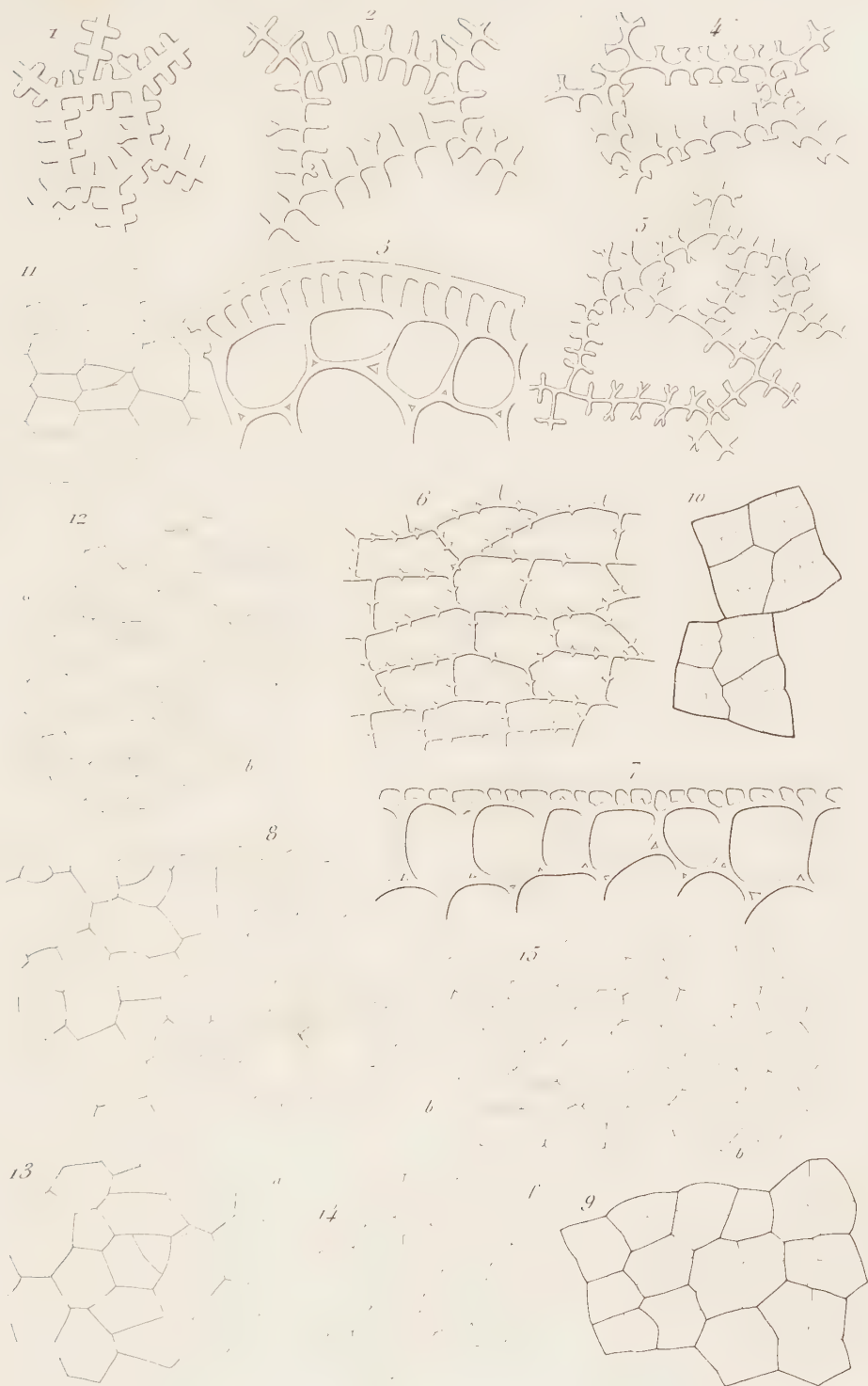
Le Doyen de la Faculté des sciences,

MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer, le 8 février 1884.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

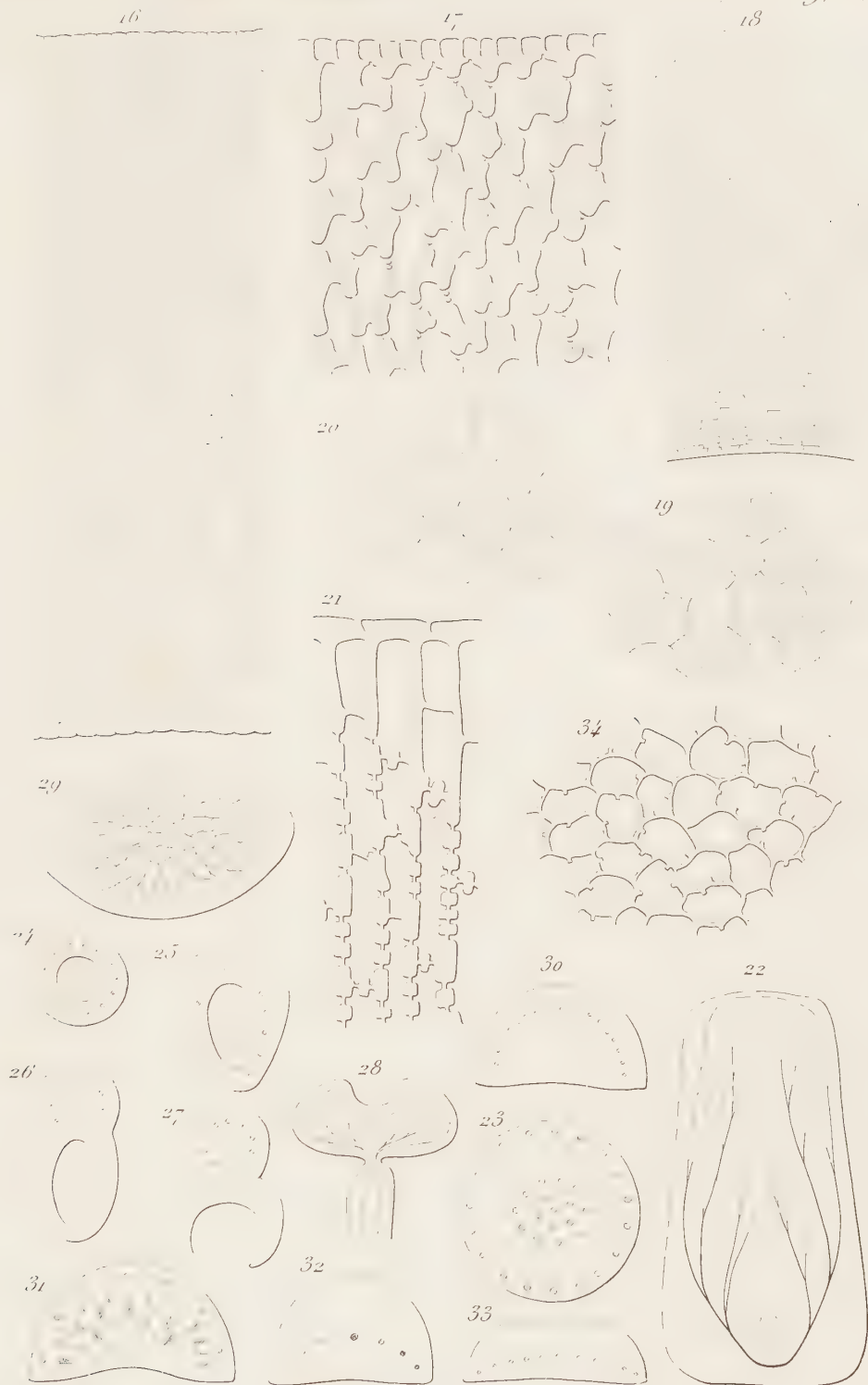
GRÉARD.



J. Godfrin del.

Dufour sc.

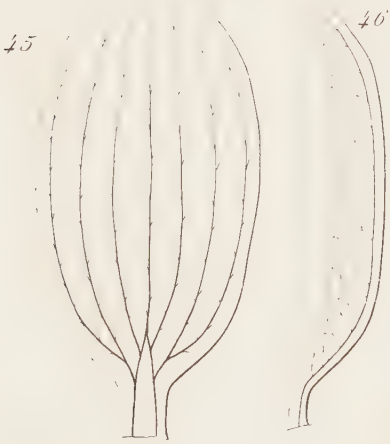
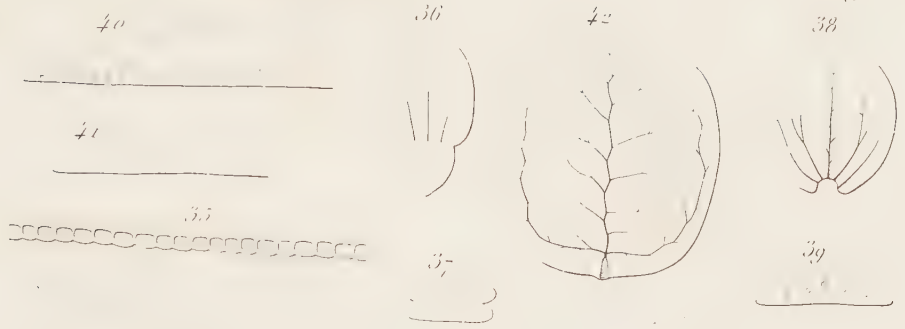
Epiderme: 1-7 *Aesculus* - 8 *Trigonella* - 9, 10 *Eriobotrya* - 11, 12 *Linum* -
13-15 *Coulteria*.



J. Godfrin del.

Dufour sc.

Parenchyme : 16 *Lupinus* - 17 *Schotia* - 18 *Arachis* - 19, 20 *Erythrina* - 21 *Latania*.
 Nervation : 22 - 29 *Latania* - 30 *Erythrina* - 31 *Arachis* - 32 *Eriobotrya* - 33 *Cerasus*.
 Epiderme : 34 *Acer*.



J. Godfrin del.

Dufour sc.

Parenchyme: 35 *Trigonella* - Nervation: 36-41 *Coulteria* - 42 *Eriobotrya*
 43 *Latania* - 44 *Sterculia* - 45, 46 *Arachis* - 47 *Amygdalus* - 48 *Hedera*.

49

50



51

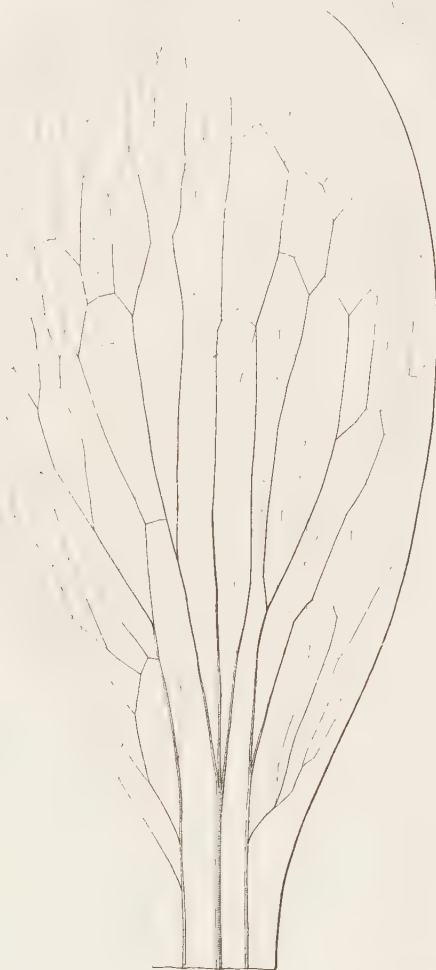
52



53

55

54



J. Godfrin del.

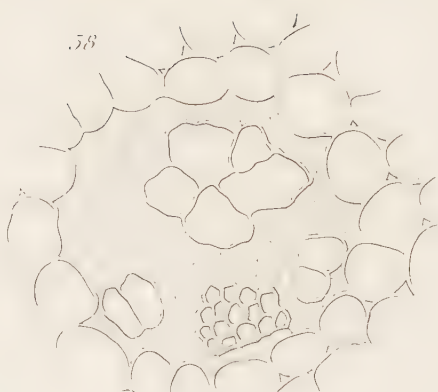
Dufour sc.

Nervation : 49, 50 Schotia - 51 Citrus - 52 Casuarina -
53 Ulmus - 54 Quercus - 55 Acer.

57



58



59



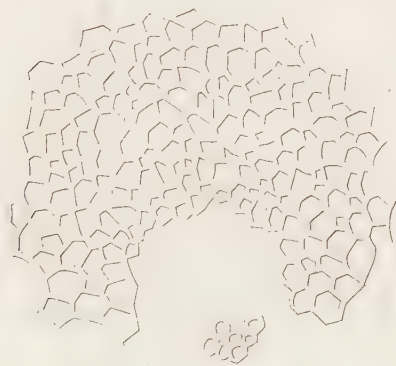
60



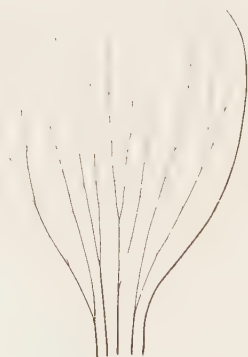
61



62



56



J. Godfrin del.

Dufour sc.

Nervation : 56, 57 *Æsculus* — 58 *Acer* — 59 *Laurus* — 60 *Fagus*,

61 *Hedera* — 62 *Latania*.



J. Godfrin del.

Dufour sc.

Contenu cellulaire : 63–69 *Trigonella*–70 *Schotia*–71 *Acer*
 72, 73 *Esculus*–74, 75 *Schotia*–76 *Arachis*–77–80 *Quercus*–81 *Arachis*.

